



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

Perancangan Koordinasi Proteksi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV) dengan menggunakan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*)

Syarif Hidayat
NRP 2212 105 064

Dosen Pembimbing
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

Designing Protection Coordination in PT. Semen Indonesia (plant Semen Gresik Tuban IV) using ZSI (Zone Selective Interlocking)

Syarif Hidayat
NRP 2212 105 064

Advisor Lecturer
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan “Perancangan Koordinasi Proteksi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV) dengan menggunakan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*)” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 20 Mei 2016

Syarif Hidayat
Nrp 2212105064

**PERANCANGAN KOORDINASI PROTEKSI PADA
PT. SEMEN INDONESIA (PLANT SEMEN GRESIK
TUBAN IV) DENGAN MENGGUNAKAN METODE ZSI
(ZONE SELECTIVE INTERLOCKING)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr.Ir. Margo Pujiانتara, MT.
NIP. 196603181990101001



Perancangan Koordinasi Proteksi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV) dengan menggunakan metode ZSI (Zone Selective Interlocking)

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Syarif Hidayat
NRP : 2212105064
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 1966 03 18 1990 10 1001

Arc flash salah satu kejadian berbahaya pada sistem kelistrikan industri. Energi yang hilang akibat kejadian ini akan dilepaskan melalui udara dan menuju ke fasa lain , netral atau menuju ke tanah. Kejadian ini sangat membahayakan bagi peralatan maupun pekerja yang berada di area terdampak energi *arc flash*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mereduksi energi *arc flash* yaitu metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*).

ZSI adalah sebuah metode pengurangan energi *arc flash* yang efektif dan relatif murah. Fokus dari metode ZSI untuk mempercepat waktu *tripping* pada beberapa kesalahan tanpa mengorbankan koordinasi selektif dan *interjecting* gangguan ke dalam sistem. Dengan mampu lebih cepat membuka *circuit breaker*, pada kondisi *short-circuit* atau *ground-fault*. Tugas akhir ini membahas perancangan koordinasi proteksi terhadap *arc flash* dengan menampilkan skema ZSI yang telah dikembangkan agar dapat meminimalisir energi yang hilang akibat *arc flash*, untuk memberikan perlindungan yang cepat, handal, dan sensitif.

Kata Kunci : *Arc Flash*, ZSI (*Zone Selective Interlocking*), *Short-circuit*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

***Designing Protection Coordination in PT. Semen Indonesia (plant
Semen Gresik Tuban IV) using ZSI (Zone Selective Interlocking)***

ABSTRACT

Nama Mahasiswa : Syarif Hidayat
NRP : 2212105064
Dosen Pembimbing : Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP : 1966 03 18 1990 10 1001

Arc flash is one adverse event in industrial electrical systems. The energy lost due to these events will be released through the air and headed to another phase, neutral or heading to the ground. This incident is very dangerous for equipment and personnel in the affected areas arc flash energy. One method that can be used to reduce energy arc flash is a method ZSI (Zone Selective Interlocking).

ZSI is an arc flash energy reduction methods are effective and relatively inexpensive. The focus of the ZSI method to accelerate time tripping on some errors without compromising selective coordination and interference interjecting into the system. By being able to more quickly open the circuit breaker, on the condition of short-circuit or ground-fault. This thesis explores the design coordination of protection against arc flash by displaying ZSI scheme that has been developed in order to minimize the energy lost due to arc flash, to provide protection that is fast, reliable, and sensitive.

Keywords: Arc Flash, ZSI and Short-circuit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan.....	1
1.3	Batasan Masalah.....	2
1.4	Tujuan Tugas Akhir	2
1.5	Metodologi	2
1.6	Sistematika Laporan	4
1.7	Relevansi.....	5

BAB 2 PROTEKSI, BUSUR API, DAN *ZONE SELECTIVE INTERLOCKING (ZSI)*

2.1	Proteksi Sistem Tenaga Listrik	7
2.1.1	Setting Proteksi Sistem Tenaga Listrik	8
2.2	Busur Api Listrik (<i>Arc Flash</i>).....	9
2.3	Energi <i>Arc Flash</i>	11
2.4	<i>Flash Protection Boundary</i>	13
2.5	<i>Personal Protective Equipment (PPE)</i>	15
2.6	<i>Zone Selective Interlocking</i>	17

BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA (*plant SEMEN GRESIK PABRIK TUBAN IV*)

3.1	Sistem Kelistrikan di PT. Semen Gresik (Persero) Pabrik TUBAN IV	21
3.2	Pembagian Beban Pada PT. Semen Gresik Tuban IV Typical Finish Mill	21
3.3	Perangkat Lunak.....	23

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Permodelan Sistem Kelistrikan	29
4.2	Pengaturan Sistem Pengaman Arus Lebih	33
4.3	Simulasi Hubung Singkat.....	33
4.4	Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman <i>Existing</i>	34
4.4.1	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1	34
4.4.2	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2.....	37
4.4.3	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 3.....	40
4.5	Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman <i>Resetting</i>	42
4.5.1	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 1	43
4.5.2	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 2.....	47
4.5.3	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 3.....	52
4.6	Simulasi Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i>	56
4.7	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1.....	56
4.7.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada BUS-834-MC271	57
4.7.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada Bus 834.LV271	59
4.7.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Nilai Insiden Energi Arc Flash.....	59
4.8	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2.....	61
4.8.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada BUS-834-MC275	62
4.8.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada Bus 834.LV272	63

4.8.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2	
	Nilai Insiden Energi Arc Flash.....	65
4.9	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3.....	67
4.9.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3	
	Gangguan Pada BUS-834-MC275	68
4.9.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3	
	Gangguan Pada BUS-834-LV281	69
4.9.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3	
	Nilai Insiden Energi Arc Flash Implementasi ZSI	71
4.10	Perbedaan Nilai Insiden Energi Arc Flash Setelah <i>Reseting</i>	
	Dan Sesudah Implementasi Metode ZSI.....	73

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan	77
5.2	Saran	77

DAFTAR PUSTAKA 79

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan.....	12
Tabel 2.2 <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	15
Tabel 3.1. ER27-834-MV271	23
Tabel 3.2. ER27-834-MV272	23
Tabel 3.3. 834.LV271	23
Tabel 3.4. 834.LV272	24
Tabel 3.5. Daftar 2 <i>Winding Transformator</i>	24
Tabel 3.6. Daftar 3 <i>Winding Transformator</i>	24
Tabel 4.1. Data <i>Short Circuit</i> Pada Tipikal 1.....	34
Tabel 4.2. Data <i>Short Circuit</i> Pada Tipikal 2.....	34
Tabel 4.3. Data <i>Short Circuit</i> Pada Tipikal 3.....	34
Tabel 4.4. Data <i>Breaker Sistem Existing</i> Tipikal 1	35
Tabel 4.5. Data <i>Breaker Sistem Existing</i> Tipikal 2	38
Tabel 4.6. Data <i>Breaker Sistem Existing</i> Tipikal 3	41
Tabel 4.7. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 1.....	45
Tabel 4.8. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 2	50
Tabel 4.9. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 3	54
Tabel 4.10 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSI Tipikal 1	59
Tabel 4.11 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSI Tipikal 2	65
Tabel 4.12 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSI Tipikal 3.....	71
Tabel 4.13 <i>Existing, Reseting, Dan Implementasi</i> ZSI Tipikal 1	74
Tabel 4.14 <i>Existing, Reseting Dan Implementasi</i> ZSI Tipikal 2	74
Tabel 4.15 <i>Existing, Reseting Dan Implementasi</i> ZSI Tipikal 3	75

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 1.1 Flowchart Monitoring “Perancangan Koordinasi Proteksi pada PT. Semen Indonesia (<i>plant</i> Semen Gresik Tuban IV) dengan menggunakan metode ZSI (<i>Zone Selective Interlocking</i>)”	4
Gambar 1.2 Contoh sebuah sistem ZSI	5
Gambar 2.1 <i>Typical Time-Current Curve</i>	9
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Flash Protection Boundary</i>	14
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE).....	17
Gambar 2.4 Sistem <i>Zone Selective Interlocking</i> (ZSI).....	18
Gambar 2.5 Waktu Sinyal ZSI	19
Gambar 3.1 Proses Typical Finish Mill	22
Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> PT.Semen Gresik yang telah disederhanakan.....	22
Gambar 3.3 SLD (<i>Single Line Diagram</i>) PT. Semen Gresik Tuban IV Finish Mill studi <i>Load Flow</i>	25
Gambar 3.4 Uji Short Circuit pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik Tuban IV Finish Mill.....	26
Gambar 3.5 Lokasi yang diambil untuk Simulasi ZSI.....	27
Gambar 4.1 Gambar Single Line Diagram PT. Semen Indonesia (<i>plant</i> Semen Gresik Pabrik Tuban IV)	30
Gambar 4.2 Tipikal 1 834.LV271	31
Gambar 4.3 Tipikal 2 834.LV272	32
Gambar 4.4 Tipikal 3 834.LV281	33
Gambar 4.5 Sistem Pengaman Tipikal 1.....	35
Gambar 4.6 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1	36
Gambar 4.7 Sistem Pengaman Tipikal 2.....	37
Gambar 4.8 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2	39
Gambar 4.9 Sistem Pengaman Tipikal 3.....	40
Gambar 4.10 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3	42
Gambar 4.11 Plot Kurva Koordinasi <i>Resetting</i> -Tipikal 1	45

Gambar 4.12 Plot Kurva Koordinasi <i>Reseting</i> -Tipikal 2	49
Gambar 4.13 Plot Kurva Koordinasi <i>Reseting</i> -Tipikal 3	53
Gambar 4.14 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 1	56
Gambar 4.15 Plot Kurva TCC Gangguan Pada BUS-834-MC271 Tipikal 1.....	57
Gambar 4.16 Gangguan Pada Bus 834.LV271.....	58
Gambar 4.17 Plot Kurva TCC Gangguan Bus 834.LV271	59
Gambar 4.18 Pengujian metode ZSI tipikal 2	62
Gambar 4.19 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 2	62
Gambar 4.20 Plot kurva TCC gangguan pada BUS-834-MC275.....	63
Gambar 4.21 Gangguan pada bus 834.LV272	64
Gambar 4.22 Plot kurva TCC pada gangguan bus 834.LV272	65
Gambar 4.23 Pengujian metode ZSI tipikal 3	68
Gambar 4.24 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 3	68
Gambar 4.25 Plot kurva TCC gangguan pada Bus-834-MC281	69
Gambar 4.26 Gangguan pada BUS-834-LV281.....	70
Gambar 4.27 Plot kurva TCC pada Gangguan BUS-834-LV281.....	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Arc flash salah satu kejadian berbahaya pada sistem kelistrikan industri. Energi yang hilang akibat kejadian ini akan dilepaskan melalui udara dan menuju ke fasa lain, netral atau menuju ke tanah. Kejadian ini sangat membahayakan bagi peralatan maupun pekerja yang berada di area terdampak energi *arc flash*. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mereduksi energi *arc flash* yaitu metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*).

ZSI adalah sebuah metode pengurangan energi *arc flash* yang efektif dan relatif murah. Fokus dari metode ZSI untuk mempercepat waktu *tripping* pada beberapa kesalahan tanpa mengorbankan koordinasi selektif dan *interjecting* gangguan ke dalam sistem. Dengan mampu lebih cepat membuka *circuit breaker*, pada kondisi *short-circuit* atau *ground-fault*. Tugas akhir ini membahas perancangan koordinasi proteksi terhadap *arc flash* dengan menampilkan skema ZSI yang telah dikembangkan agar dapat meminimalisir energi yang hilang akibat *arc flash*, untuk memberikan perlindungan yang cepat, handal, dan sensitif.

1.2. Perumusan masalah

Perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini mempunyai batas-batas sebagai berikut:

1. Bagaimana perencanaan setting koordinasi rele pengaman di PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV)?
2. Menganalisa kategori *arc flash* yang terjadi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV).
3. Implementasi metode ZSI untuk mereduksi energi yang ditimbulkan oleh *arc flash*.
4. Menentukan PPE (*Personel Protective Equipment*) / alat keamanan kerja untuk menunjang keselamatan setelah implementasi metode ZSI berdasar pada NFPA 70E.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan di atas, batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Men-setting rele pengaman di PT.Semen Indonesia Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV)
2. Menganalisa kategori arc flash yang terjadi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV).
3. Implementasi metode ZSI untuk mereduksi energi yang ditimbulkan oleh *arc flash*.
4. Menentukan PPE (*Personel Protective Equipment*) / alat keamanan kerja untuk menunjang keselamatan setelah implementasi metode ZSI berdasar pada NFPA 70E.

1.4. Maksud dan Tujuan

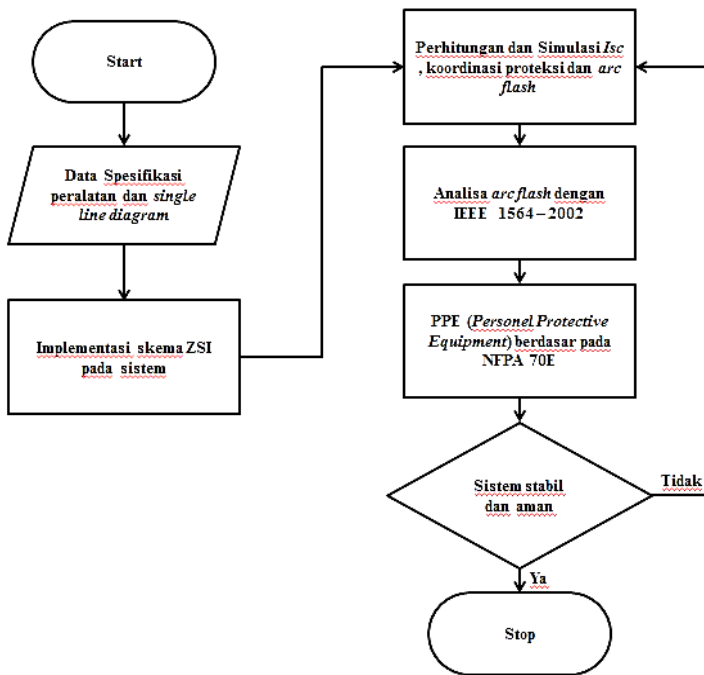
Tujuan dari perencanaan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui hasil setting koordinasi rele pengaman pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV).
2. Mengetahui hasil perhitungan energi *arc flash* pada kondisi sekarang, dan membandingkan dengan standar IEEE 1584-2002 pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV).
3. Menentukan nilai bahaya *arc flash* yang dapat direduksi dengan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*), dan digunakan sebagai rekomendasi bagi perusahaan.
4. Mengetahui katagori Arc Flash setelah direduksi pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV) sehigga dapat ditentukan alat keamanan kerja bagi pekerja.
5. Mengetahui level energi untuk keselamatan pekerja yang berdasarkan NFPA 70E sehingga bisa menjadi masukan bagi PT.Semen Indonesia , Pabrik Tuban IV.

1.5. Metodologi

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
Pengambilan data dari *single line* diagram berupa spesifikasi peralatan baik itu generator, transformator, CB, dan peralatan lainnya yang ada di dalam sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV).
2. Studi literatur
Studi literatur ini digunakan untuk memperkuat pemahaman tentang arus hubung singkat, analisa sistem tenaga, koordinasi proteksi, perhitungan *arc flash* dan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*).
3. Pemodelan dan Simulasi
Setelah mendapatkan data sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV), data tersebut kemudian diolah dan disimulasikan pada *software* ETAP 12.6 dalam bentuk *single line diagram*. Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat, koordinasi peralatan pengaman dan *arc-flash*.
4. Analisa Data
Dari simulasi dan pemodelan akan didapatkan karakteristik dan kategori *arc flash* dari sistem kelistrikan, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.
5. Kesimpulan
Langkah terakhir dalam tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari permasalahan yang telah dianalisa. Selain itu juga diberikan saran atau rekomendasi terkait hal yang telah dianalisa.



Gambar 1.1 Flowchart Monitoring “Perancangan Koordinasi Proteksi pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV) dengan menggunakan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*)”

1.6. Sistematika Laporan

Pembahasan pada laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu pendahuluan, teori penunjang, perencanaan dan pembuatan alat, pengujian dan analisa alat, serta penutup.

Bab I Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, maksud dan tujuan, sistematika laporan, metodologi, serta relevansi.

Bab II Teori Penunjang

Menjelaskan teori penunjang yang dijadikan landasan dan mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

Bab III Perencanaan dan Pembuatan Alat

Membahas perencanaan dan pembuatan perangkat keras yang meliputi rangkaian-rangkaian, desain mekanik serta miniatur tandon air, dan perangkat lunak yang meliputi program yang akan digunakan untuk mengaktifkan alat tersebut.

Bab IV Pengujian dan Analisa Data

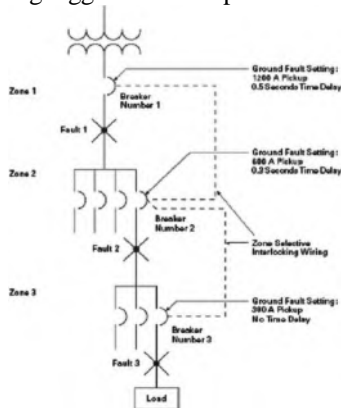
Membahas pengujian dan analisa data terhadap alat ukur beserta software yang digunakan.

BAB V Penutup

Berisi penutup yang menjelaskan tentang kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan alat ini lebih lanjut.

1.7. Relevansi

Zone Selective Interlocking (ZSI) merupakan metode pengurangan insiden energi dari *arc flash* yang efektif dan relatif murah [3]. Instalasi ZSI hanya membutuhkan kabel dan tenaga kerja jika *circuit breaker trip unit* sudah memiliki fitur ZSI [3]. Prinsip kerja ZSI adalah menggunakan prinsip komunikasi antar relay, sehingga antara relay satu dengan relay lainnya dapat mengirim dan menerima sinyal. Sinyal tersebut digunakan untuk mendeteksi daerah kerja dari CB untuk *trip* sehingga pengamanan dari gangguan lebih cepat dan efektif.



Gambar 1.2 Contoh sebuah sistem ZSI

Konsep dari ZSI ditunjukkan pada gambar 1. ZSI mengijinkan CB elektronik atau relay proteksi saling berkomunikasi pada zona distribusi. Jika gangguan terjadi pada zone 2, unit trip akan mengirim sebuah sinyal ke CB-1 (zone 1) sebagai tanda bahwa gangguan berada pada zone 2 [2]. Sinyal *blocking* memberikan informasi ke CB-1 (zone 1) untuk trip sesuai time delay ataupun sebagai *back up* dari CB-2 (zone 2). Maka CB-2 (zone 2) bertugas untuk mengamankan gangguan tersebut [2]. Apabila gangguan terjadi pada lokasi gangguan 1, maka tidak akan ada *blocking signal* yang akan dikirimkan ke breaker CB-1 (zone 1) [2]. Ketika breaker CB-1 (zone 1) merasakan ada gangguan namun tidak mendapat *blocking signal*, maka CB-1 (zone 1) akan *trip* secara *instant* tanpa waktu tunda [2].

BAB 2

PROTEKSI, *ARC FLASH* DAN *ZONE SELECTIVE INTERLOCKING (ZSI)*

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Pengertian dari proteksi sistem tenaga listrik adalah pengamanan suatu jaringan atau feeder yang bertujuan untuk memberikan perlindungan yang handal pada sistem dan beban dari kerusakan akibat adanya gangguan. Gangguan hubung singkat dapat disebabkan oleh adanya sambaran petir, kegagalan isolasi ataupun gangguan akibat ranting pohon dan binatang. Sistem proteksi tenaga listrik dapat melokalisir dampak suatu gangguan pada daerah perlindungannya sehingga peralatan yang lainnya tetap dapat beroperasi tanpa adanya gangguan. Pada sistem tenaga listrik sangat dimungkinkan adanya gangguan yang berakibat pada keadaan yang tidak normal.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh 2 faktor, yaitu faktor luar dan faktor dalam. Berikut ini adalah penyebab gangguan yang disebabkan faktor luar [1];

- a. Gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi pada sistem kelistrikan bawah tanah.
- b. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*beakdown*).
- c. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang, dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan dari manusia.

Sedangkan penyebab gangguan dari faktor dalam yaitu [1];

- a. Tegangan dan arus abnormal.
- b. Pemasangan yang kurang baik.
- c. Kesalahan mekanis karena faktor penuaan.
- d. Beban lebih
- e. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat pemutus, atau kabel cacat isolasinya.

Pada sistem tenaga listrik, selain gangguan faktor luar dan faktor dalam tersebut, juga terdapat gangguan langsung yang berupa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa, gangguan beban lebih, dan gangguan tegangan lebih. Gangguan bersifat temporer (sesaat) dan bersifat permanen. Pada gangguan temporer, gangguan dapat hilang

dengan sendirinya ataupun dengan melepaskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Pada gangguan temporer, apabila gangguan tidak dapat dihilangkan dengan segera maka gangguan dapat berubah menjadi gangguan permanen. Sedangkan gangguan permanen yaitu gangguan yang bersifat tetap. Gangguan permanen ini diperlukan tindakan langsung untuk menghilangkannya yaitu melakukan perbaikan ataupun menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.1.1 Setting Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Merujuk pada standart british BS 142 batas nilai *setting* untuk *long time pickup* (LT pickup) adalah $1,05-1,4 I_{FL}$. Setting ini berfungsi untuk *setting* arus lebih, yang bertujuan agar CB (*circuit breaker*) tidak bekerja pada saat beban maksimum. Setting untuk LT Pickup menggunakan persamaan berikut:

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \quad (2.1)$$

Dimana FLA adalah *full load ampere*.

Pengaman arus lebih instan akan bekerja seketika ketika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan *setting short time pickup* (ST pickup) digunakan $I_{sc \min}$ (*short circuit minimum*) yaitu arus hubung singkat 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.2)$$

Dalam penentuan *setting circuit breaker* untuk motor digunakan persamaan berikut

$$LRC \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.3)$$

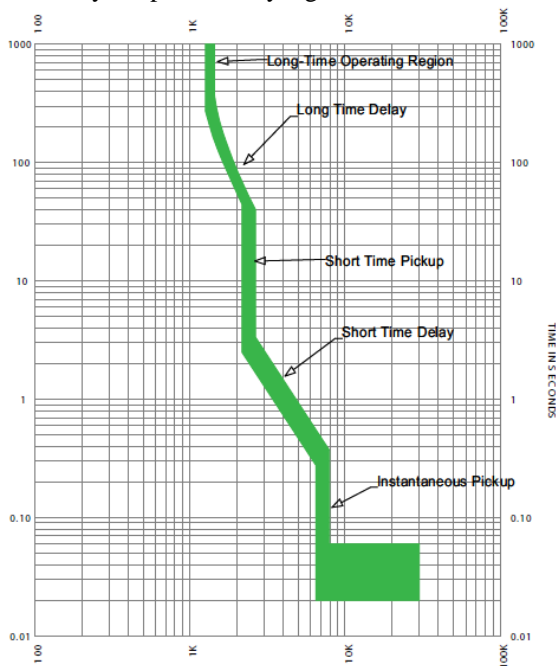
Dimana LRC adalah *locked rotor*

Koordinasi proteksi memiliki tujuan agar *circuit breaker* tidak bekerja secara bersamaan antara pengaman utama dan pengaman *backup*. Maka dalam melakukan koordinasi diperlukan adanya *time delay* antara *circuit breaker* utama dan *circuit breaker backup*. *Time delay* adalah sebagai *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara *circuit breaker* utama dan *circuit breaker backup* adalah 0,3 – 0,4 detik. Berdasar pada standar IEEE 242:

- a. Waktu buka CB : 0,04 – 0,1 detik (2-5 cycle)
- b. *Overtravel* dari rele : 0,1 detik
- c. Faktor keamanan : 0,12 – 0,22 detik

Pada pengaman berbasis *microprocessor*, *overtravel time* diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2 – 0,3 detik. Perbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan pada sisi bawah telah berhasil dihilangkan, sehingga kemungkinan trip bersamaan dapat

dihindari. Gambar 2.1 menunjukkan detail bagian dari *Typical Time-Current Curve*. Terdapat beberapa bagian yaitu *Instantaneous pickup* adalah level arus pada *circuit breaker* dimana *circuit breaker* akan trip tanpa waktu tunda. *Shorttime delay* adalah lamanya waktu *circuit breaker* akan menahan sebuah *short circuit* sebelum membangkitkan sinyal trip. *Short time pickup* adalah tingkat arus pada *circuit breaker* dengan fungsi delay waktu singkat. *Long time delay* adalah lamanya waktu *circuit breaker* yang akan menahan arus lebih berkelanjutan sebelum membangkitkan sinyal trip. *Long time operating region* adalah wilayah operasional yang lama.



Gambar 2.1 *Typical Time-Current Curve* [7]

2.2 Busur Api Listrik (*Arc Flash*)

Arc flash didefinisikan sebagai hasil pelepasan energi yang cepat. Pelepasan energi ini terjadi karena adanya *arching fault* diantara bus satu dengan bus yang lainnya, netral, ataupun ground. *Arching fault* merupakan aliran arus listrik yang mengalir pada saluran yang

seharusnya tidak teraliri arus. Arus ini menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang membahayakan bagi lingkungan disekitarnya. Selama terjadi *arching fault*, udara bersifat sebagai konduktor sehingga mampu menyalurkan energi. Sedangkan busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik besar yang terionisasi melalui udara sekitar. Energi plasma inilah yang menyebabkan terjadinya *arc flash*, energi ini menimbulkan kerugian fisik yaitu ledakan bola api yang terhempas keluar. Panas yang dihasilkan dari ledakan ini menyebabkan luka bakar yang serius apabila terkena pekerja yang sedang bekerja dalam keadaan *online system*. Selain ledakan, kerugian fisik yang ditimbulkan adalah bunyi dari ledakan itu sendiri yang dapat mengganggu pendengaran pekerja maupun orang yang ada disekitarnya.

Panas yang dihasilkan dari *electric arc* dapat mencapai lebih dari 35000⁰ F atau setara dengan 19400⁰ C. Pada suhu itulah material dapat menguap dan mengembang. *Arc* yang sangat kuat menyebabkan perpindahan udara yang tiba-tiba. Tembaga memuai 67000 kali dari volume aslinya dalam *electric arc*. Fenomena seperti ini menyebabkan ledakan gelombang bertekanan. Konduktor yang meleleh akan menjadi tetesan-tetesan logam cair panas yang berpercara kesegala penjuru arah. *Arc flash* dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu:

- a. Debu
- b. Alat yang terjatuh
- c. Menyentuh secara sengaja maupun tidak sengaja
- d. Kondensasi
- e. Kegagalan material
- f. Korosi
- g. Instalasi rusak

Sedangkan tiga faktor yang menentukan tingkat keparahan cedera dari *arc flash* adalah kedekatan pekerja untuk bahaya, suhu, waktu untuk *circuit breaker* membuka. Jumlah energi yang dipancarkan oleh *arc flash* adalah fungsi dari tegangan, arus gangguan, jarak pekerja dari *arc*, panjangnya *arc*, dan waktu yang dibutuhkan oleh peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan gangguan [2].

Arching fault dapat menghasilkan semua sepectrum radiasi seperti inframerah, ultra violet, dan cahaya tampak dengan efek yang terkait seperti gelombang bertekanan. Radiasi infra merah dan panas yang tinggi menyebabkan luka bakar yang serius pada kulit seseorang dan dalam kasus tertentu juga menyebabkan kematian. Gelombang bertekanan dapat menyebabkan seseorang kehilangan pendengaran atau

bahkan patah tulang. Pada kondisi tempat tertutup, asap dari *arc flash* menyebabkan luka bakar jaringan paru-paru yang berdampak pada kematian.

2.3 Energi Arc Flash

Perhitungan energi *arc flash* berdasarkan standar IEEE 1584-2002. Perhitungan ini diaplikasikan pada sistem dengan range tegangan tiga fasa 208-15 kV yang bekerja pada frekwensi 50-60Hz, *bolted fault current* 700-106 kA, gap antar konduktor sebesar 13 mm-152 mm dan sistem uji gangguan hubung singkat tiga fasa.

Penentuan nilai *arching current* saat terjadi gangguan tiga fasa diperlukan untuk menentukan waktu operasi *circuit breaker* dengan tujuan mengamankan peralatan yang ada. Persamaan untuk penentuan *arching current* dibedakan menjadi dua yaitu: [3]

a. *arching current* untuk sistem dibawah 1000 V [3]

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \quad (2.4)$$

Dimana:

$\lg = \log_{10}$

$I_a =$ arus arcing (kA)

$K = -0,153$ untuk konfigurasi terbuka dan $-0,097$ untuk konfigurasi box

$I_{bf} =$ *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

$V =$ tegangan sistem (kV)

$G =$ jarak antar konduktor (mm)

b. *arching current* untuk sistem diatas 1000 V [3]

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (2.5)$$

Dimana:

$\lg = \log_{10}$

$I_a =$ arus arcing (kA)

$I_{bf} =$ *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

Perhitungan arus *arc flash* pada level tegangan 1000 V atau lebih konstanta untuk open atau box configurations (K) diabaikan. Perhitungan besar *incident energy* berdasarkan IEEE 1584-2002 menggunakan [3]

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \quad (2.6)$$

Persamaan diatas disederhakan menjadi

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg Ia + 0,0011 G} \quad (2.7)$$

Dimana:

E_n = incident energy (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

K1 = - 0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan
- 0,555 untuk konfigurasi *box (enclosed equipment)*

K2 = 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded*
- 0,113 untuk sistem *grounded*

G = gap antara *conductors* (mm)

Berdasar pada IEEE 1584-2002 persamaan (2.6) di *normalized* terlebih dahulu berdasarkan data waktu *close circuit breaker* 0,2 s atau 200 ms, jarak antara titik *arc flash* dengan pekerja adalah 610 mm atau setara dengan 0,61 m. Hasil pengkonversian dari kondisi *normalized* didapatkan [3]

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610x}{D^2} \right) \quad (2.8)$$

Dimana:

E = incident energy (J/cm²)

C_f = calculation factor

1,0 untuk tegangan diatas 1000 V

1,5 untuk tegangan dibawah 1000 V

E_n = incident energy (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

t = *arching time* (S)

D = jarak antara titik *arc flash* dengan pekerja (mm)

x = *distance x factor*

Tabel 2.1 menunjukkan standar *distance x factor*, standar untuk masing-masing kelas peralatan ditunjukkan pada table 2.2, dan standar jarak antar konduktor (gap) ditunjukkan pada table 2.3

Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [1]

System Voltage (kV)	Equipment Type	Typical Gap Between Conductors (mm)	Distance x Factor
0,208-1	Open air	10-40	2
	Switchgear	32	1,473
	MCC and panels	25	1,641
	Cable	13	2

Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [1]
(Lanjutan)

<i>System Voltage (kV)</i>	<i>Equipment Type</i>	<i>Typical Gap Between Conductors (mm)</i>	<i>Distance x Factor</i>
>1-5	Open air	13-102	2
	Switchgear	13-102	0,973
	Cable	13	2
>5-15	Open air	13-153	2
	Switchgear	153	0,973
	Cable	13	2

2.4 Flash Protection Boundary

Pengertian dari *flash protection boundary* adalah batas jarak perlindungan terhadap titik *arc flash* terjadi. Yaitu Batas jarak tertentu seseorang dengan konduktor aktif, yang dapat mengakibatkan orang tersebut terkena dampak bahaya *arc flash*. *Flash protection boundary* dapat dikategorikan setelah nilai dari insiden energi *arc flash* ini diketahui. Berdasar pada standar IEEE 1584-2002, *flash protection boundary* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{810^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.9)$$

Dimana:

D_B = jarak batas dari titik arcing (mm)

C_f = faktor pengali

1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan

1,5 untuk tegangan dibawah 1kV

E_n = *incident energy normalized*

E_B = *incident energy in J/cm² at the boundary distance*

t = waktu arcing (detik)

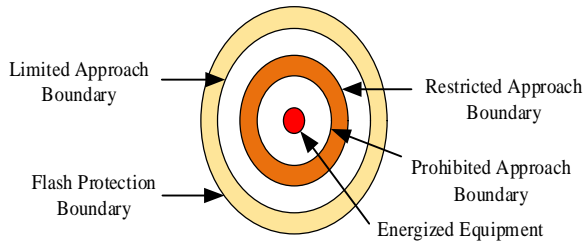
x = jarak exponent dari tabel 2.1

I_{bf} = *bolted fault current*

Nilai E_B dapat disetting 5,0 J/cm² untuk *bare skin (no hood)* atau *rating* dari PPE yang diajukan (5,0 J/cm² = 1,2 cal/cm²).

Demi meningkatkan kewaspadaan terhadap bahaya *arc flash*, diperlukan pemahaman tentang *flash protection boundary*. Detil dari

ilustrasi batas perlindungan terhadap bahaya *arc flash* terdapat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi *Flash Protection Boundary* [2]

a. *Flash Protection Boundary*

Merupakan batas perlindungan dimana tingkat incident energi sama dengan $1,2 \text{ cal/cm}^2$. Pada area ini memungkinkan pekerja mengalami dampak cedera parah jika terjadi *arc flash*.

b. *Limited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik. Area ini merupakan batas perlindungan untuk tidak dilewati orang yang tidak memenuhi syarat, kecuali mendapat pengawasan orang yang sudah berpengalaman.

c. *Restricted Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat peningkatan resiko *shock* yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja. Area ini merupakan batas perlindungan yang hanya orang-orang berpengalaman boleh melintasi batas ini. Pada saat melintasi area ini diwajibkan menggunakan pakaian dan peralatan yang dibutuhkan.

d. *Prohibited Approach Boundary*

Batas pendekatan jarak dari konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif. Area ini merupakan batas perlindungan dimana apabila ingin melintasi batas ini tidak hanya harus menggunakan pakaian dan peralatan pelindung tetapi juga diharuskan melibatkan orang-orang yang telah memenuhi kualifikasi terhadap *arc flash hazard*. Pada

area ini para pekerja akan melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.

2.5 Personal Protective Equipment (PPE)

PPE adalah perlengkapan keselamatan yang harus digunakan setiap orang yang akan masuk ke dalam area yang memungkinkan terjadinya *arc flash*. Jenis perlengkapan ini berdasarkan dari NFPA 70E 2015. Katagori dari PPE ini di dapat dari besarnya energi yang dihasilkan oleh *arc flash* dan dampak yang diakibatkan oleh *arc flash hazard* terhadap pekerja. Berikut tabel PPE berdasarkan katagori insiden energi yang dilepaskan.

Tabel 2.2. *Personal Protective Equipment (PPE)* [2]

Category	Personal Protective Equipment (PPE)
1	<p>Arc-Rating, Minimum Arc Rating of 4 Cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i> <i>Arc-rated face shield or arc flash suit hood</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p>Protective Equipment <i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR), Hearing protection (ear canal inserts), Heavy duty leather gloves</i> <i>Leather footwear (AN)</i></p>
2	<p>Arc-Rated Clothing, Minimum Arc Rating of 8cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i> <i>Arc-rated flash suit hood or arc-rated face shield and arc-rated balaclava</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p>Protective Equipment <i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR), Hearing protection (ear canal inserts), Heavy duty leather gloves, Leather footwear</i></p>
3	<p>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 25 cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR), Arc-rated pants (AR), Arc-rated coverall (AR), Arc-rated arc flash suit jacket (AR), Arc-rated arc flash suit pants (AR), Arc-rated arc flash suit hood, Arc-rated gloves</i></p>

	<p><i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i></p> <p><i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts), Leather footwear</i></p>
--	--

Tabel 2.2. *Personal Protective Equipment (PPE) [2] (lanjutan)*

Category	Personal Protective Equipment (PPE)
4	<p><i>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 40 cal/cm²</i></p> <p><i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated coverall (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit jacket (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit pants (AR)</i></p> <p><i>Arc-rated arc flash suit hood</i></p> <p><i>Arc-rated gloves</i></p> <p><i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i></p> <p><i>Hard hat</i></p> <p><i>Safety glasses or safety goggles (SR)</i></p> <p><i>Hearing protection (ear canal inserts)</i></p> <p><i>Leather footwear</i></p>

Note:

AN: as needed (optional).

AR: as required.

SR: selection required

Detil dari alat pelindung diri berdasarkan klasifikasi dapat dilihat pada gambar 2.3. Ilustrasi ini berdasarkan pada NFPA 70E 2015.

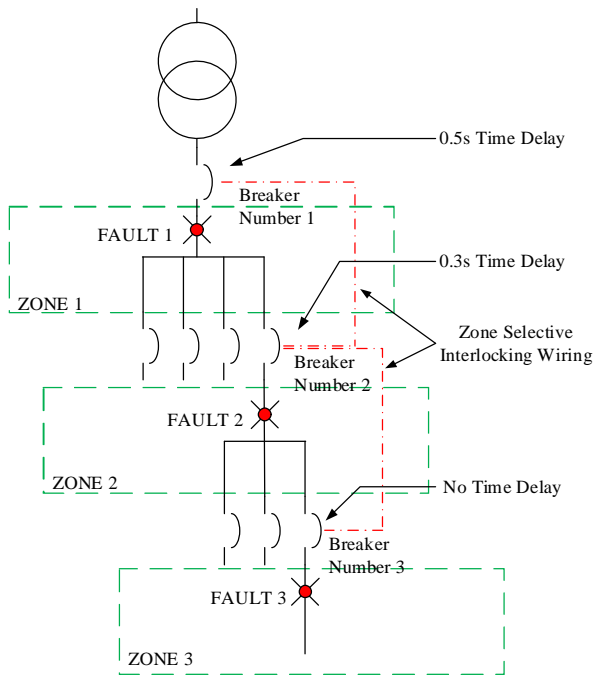


Gambar 2.3 *Ilustrasi Personal Protective Equipment (PPE)*

2.6 Zone Selective Interlocking

Zone Selective Interlocking (ZSI), juga disebut zona pengendalian, adalah sebuah sistem yang dirancang untuk mengurangi tekanan pada peralatan distribusi listrik selama kondisi arus pendek atau *ground-fault*. ZSI bekerja dengan sistem distribusi terkoordinasi untuk membatasi tekanan kesalahan pada sistem dengan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan kesalahan. Kondisi kesalahan dapat menyebabkan tekanan termal dan mekanik pada sistem kelistrikan. Tekanan termal adalah hasil dari energi yang hilang dalam sistem selama kesalahan terjadi dan dapat dinyatakan sebagai (I^2t) (arus gangguan kuadrat kali panjang waktu kesalahan). Tekanan mekanik adalah hasil dari arus puncak yang menyebabkan kekuatan magnet tinggi yang bisa menekuk bus bar, konduktor cambuk dan merusak isolator.

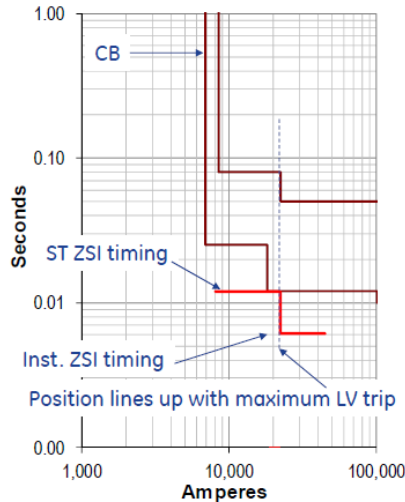
Konsep ZSI bermula dari mahalnya harga relay bus *differential* dan membutuhkan ruang banyak akibat dari pemasangan *current transformer* sehingga sejak saat itu ZSI dikembangkan karena tidak membutuhkan ruang besar dan biaya ZSI lebih murah dibandingkan dengan relay bus *differential*. Fokus dari skema ZSI adalah untuk mempercepat *tripping time* tanpa mengorbankan koordinasi selektif dan *interjecting* gangguan *tripping* ke dalam sistem. ZSI mempunyai kemampuan lebih cepat untuk membuka pemutus sirkuit selama kondisi hubungan arus pendek atau *ground-fault*, sehingga tekanan (termal dan mekanik) pada sistem listrik dapat dikurangi. ZSI merupakan salah satu metode pengurangan insiden energi dari *arc flash* yang efektif dan relatif murah [4]. Instalasi ZSI hanya membutuhkan kabel dan tenaga kerja jika *circuit breaker trip unit* sudah memiliki fitur ZSI [4]. Prinsip kerja ZSI adalah menggunakan prinsip komunikasi antar CB, sehingga antara CB satu dengan CB lainnya dapat mengirim dan menerima sinyal. Sinyal tersebut digunakan untuk mendeteksi daerah kerja dari CB untuk *trip* sehingga pengamanan dari gangguan lebih cepat dan efektif. ZSI dapat bekerja sampai 3 tingkat, meskipun penggunaan ZSI paling umum hanya 2 tingkat [4]. Detil dari skema ZSI dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem *Zone Selective Interlocking* (ZSI) [5]

ZSI memberikan akses *circuit breaker* (CB) elektronik untuk saling berkomunikasi pada zona distribusi. Jika gangguan terjadi pada zone 3, unit trip akan mengirim sebuah sinyal ke CB-2 (zone 2) sebagai tanda bahwa gangguan berada pada zone 3 [5]. Sinyal *blocking* memberikan informasi ke CB-2 (zone 2) untuk trip sesuai time delay ataupun sebagai *back up* dari CB-3 (zone 3). Maka CB-3 (zone 3) bertugas untuk mengamankan gangguan tersebut [5]. Ketika gangguan terjadi pada zone 2, unit trip akan mengirim sebuah sinyal ke CB-1 (zone 1) sebagai tanda bahwa gangguan berada pada zone 2 [5]. Sinyal *blocking* memberikan informasi ke CB-1 (zone 1) untuk trip sesuai time delay ataupun sebagai *back up* dari CB-2 (zone 2). Maka CB-2 (zone 2) bertugas untuk mengamankan gangguan tersebut [5]. Apabila gangguan terjadi pada lokasi gangguan 1, maka tidak akan ada *blocking signal* yang akan dikirimkan ke breaker CB-1 (zone 1) [5]. Ketika breaker CB-1 (zone 1) merasakan ada gangguan namun tidak mendapat *blocking signal*, maka

CB-1 (zone 1) akan *trip* secara *instant* tanpa waktu tunda [5]. *Signal timing* dari ZSI adalah berkisar 0,01s sehingga sinyal *blocking* dapat dikirim terlebih dahulu sebelum *breaker trip* tanpa *delay* [6].



Gambar 2.5 Waktu Sinyal ZSI [6]

Dalam skema ZSI ini, breaker satu dengan breaker yang lainnya terhubung dengan kabel untuk berkomunikasi dengan mengirimkan *blocking signal*. Sehingga dari cara tersebut insiden *energy arc flash* dapat direduksi. Hal itu didasarkan pada prinsip waktu *trip unit* kerja semakin cepat mengamankan gangguan, maka insiden energi yang terlepas semakin kecil. Pengaplikasian ZSI sebagai solusi dari pengurangan energi *arc-flash* terdapat beberapa yang harus diperhatikan yakni: [4]

1. ZSI bekerja secara otomatis (tidak perlu adanya tindakan pencegahan).
2. ZSI hanya berdampak pada karakteristik *short time delay* dan *ground fault time delay*.
3. Arus gangguan *arcing* harus berada di atas setting STPU (*short time pick up*) untuk mengurangi insiden energi.
4. ZSI membutuhkan tambahan 2 *cycle* (maksimum 3 *cycle*) agar breaker *trip* dibandingkan dengan instant trip yang mencapai 5-6 *cycle*.

5. ZSI memerlukan prosedur tes breaker yang sedikit berbeda selama perawatan atau kalibrasi.

ZSI pada awalnya merupakan kemampuan *trip unit* pada *low voltage circuit breaker* untuk mengurangi fault stress pada peralatan. Didalam perkembangannya digunakan untuk mengurangi insiden energy *arc flash*, hal ini berdasarkan pada semakin cepat waktu pengaman dalam mengamankan gangguan maka semakin kecil pula insiden energi yang *arc flash* yang dilepaskan. Sehingga insiden energi besar karena berdasar pada koordinasi proteksi biasa dapat direduksi dengan menggunakan ZSI. Penggunaan ZSI menjadikan koordinasi dan selektivitas menjadi tidak bersebrangan.

Hal ini diakibatkan oleh *time delay* antara *upstream circuit breaker* dan *downstream circuit breaker* harus memenuhi dari standar koordinasi proteksi, yaitu 0,2-0,4 detik, sehingga *upstream circuit breaker* yang memiliki waktu yang lebih lama akan mengalami insiden energy *arc flash* yang besar. Hal ini berdasar pada arus gangguan yang sama memiliki waktu trip yang lebih panjang.

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. SEMEN INDONESIA (*plant* SEMEN GRESIK PABRIK TUBAN IV)

Pada sistem kelistrikan di Pabrik Tuban IV terbagi atas beberapa beban yang dikelompokkan dalam 9 Elektrikal Room (ER). Kesembilan ER tersebut disuplai oleh PLN sebesar 150 kv. Pembagian ER tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut :

- Electrical Room – 23A : Limestone Crushing & Trasnport
- Electrical Room – 23B : Clay Crushing
- Electrical Room – 23C : Limestone Transport & Storage
- Electrical Room – 24 : Raw Material
- Electrical Room – 25 : Kiln & Coal Mill
- Electrical Room – 26 : Cooler
- Electrical Room – 27 : Cement Mill
- Electrical Room – 28 : Cement Packer
- Electrical Room – 29 : Utility

3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Semen Gresik (Persero) Pabrik TUBAN IV

PT. Semen Gresik (Persero) merupakan badan usaha milik negara (BUMN) yang bergerak dibidang semen. PT Semen Gresik saat ini merupakan anggota dari Semen Indonesia Group. Awalnya PT. Semen Gresik bernama PT. Semen Gresik (Persero) Tbk dan secara resmi telah berganti nama menjadi PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk pada tanggal 20 desember 2012.

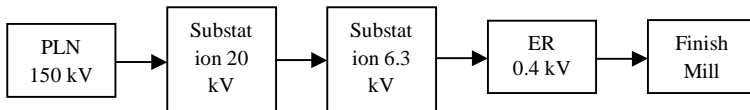
Sistem kelistrikan PT. Semen Gresik (Persero) Tbk Tuban IV merupakan sistem kelistrikan yang cukup besar dan kompleks. Pabrik Tuban IV disuplai oleh PLN sebesar 150 kV melalui Gardu Induk Tuban. Distribusi kelistrikan di pabrik Tuban IV adalah sebagai berikut :

1. Tegangan 150 kV
Jaringan utama dari substation menggunakan transformator step down 150/20 kV menuju substation yang menggunakan sistem tegangan 20 kV.
2. Tegangan 20 kV
Jaringan pada substation menggunakan transformator step down 150/20 kV menuju substation yang menggunakan sistem tegangan 20 kV.

3. Tegangan 6.3 kV
Jaringan pada substation menggunakan transformator step down 20/6.3 kV menuju electrical room yang menggunakan sistem tegangan 6.3 kV
4. Tegangan 380 V
Jaringan pada electrical room menggunakan transformator step down 6.3/0.4 kV menuju beban LV yang menggunakan sistem tegangan 380 V.

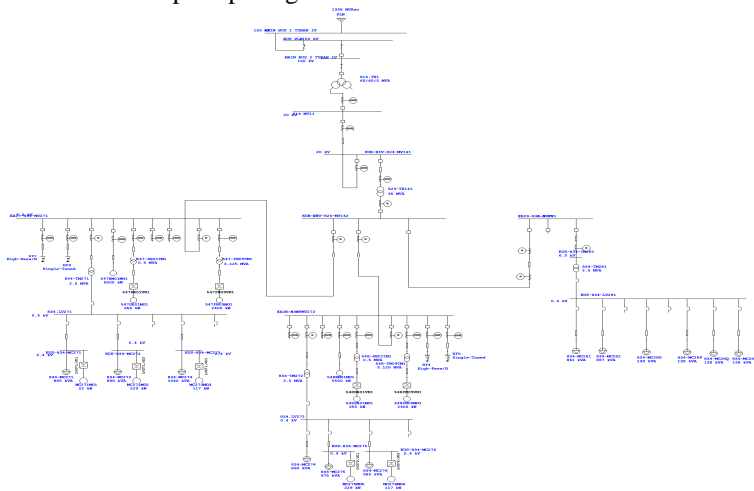
3.2 Pembagian Beban Pada PT. Semen Gresik Tuban IV Typical Finish Mill

Pada Tugas Akhir ini, typical yang diambil adalah Typical Finish Mill. Proses sistem kelistrikan PT. Semen Gresik Tuban IV dari 150 kV sampai Finish Mill seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Proses Typical Finish Mill

Berikut hasil single line diagram PT. Semen Gresik yang telah disederhanakan seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Single Line Diagram PT.Semen Gresik yang telah disederhanakan (Lampiran 1)

3.2.1 Pembagian Beban Berdasarkan Electrical Room

Pembagian beban pada Electrical Room 27 tercantum pada table 3.1 dan table 3.2.

Table 3.1. ER27-834-MV271

Lokasi	ID Beban	kV	kW
ER27-834-MV271	547RM01MO1	6979	5500
	547SR01MO1	440	355
	547FN01MO1	3045	2400

Table 3.2. ER27-834-MV272

Lokasi	ID Beban	kV	kW
ER27-834-MV272	548RM01MO1	6979	5500
	548SR01MO1	440	355
	548FN01MO1	3045	2400

3.2.2 Pembagian Beban Tegangan Rendah

Beban pada electrical room yang berada dalam level tegangan 6.3 kV, terdapat juga beban yang berada pada level tegangan 0.4 kV atau 380 V. Berikut ini adalah beban pada tegangan 0.4 kV :

Tabel 3.3. 834.LV271

Lokasi	ID Beban	kV	kW
834.LV271	834-MC271 (LUMPED)	885	752
	834-MC271-VFD	27.2	22
	834-MC272 (LUMPED)	888	755
	834-MC272-VFD	290	229
	834-MC273 (LUMPED)	1040	884
	834-MC273-VFD	145	117

Tabel 3.4. 834.LV272

Lokasi	ID Beban	kV	kW
834.LV272	834-MC274 (LUMPED)	860	731
	834-MC275 (LUMPED)	675	574
	834-MC275- VFD	290	229
	834-MC276 (LUMPED)	985	837
	834-MC276- VFD	149	117

3.2.3 Distribusi Daya oleh Transformator Daya

Pada sistem kelistrikan PT. Semen Gresik Pabrik Tuban IV terdapat distribusi daya yang didukung oleh beberapa transformator daya untuk menyuplai beban dengan rating tegangan tertentu. Berikut ini adalah daftar transformator tersebut :

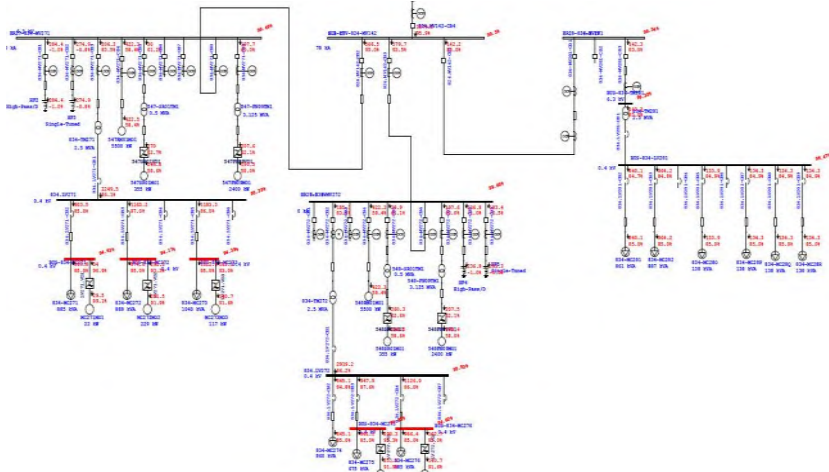
Tabel 3.5. Daftar 2 *Winding Transformator*

ID Trafo	MVA	PRIMER	SEKUNDER	%Z	X/R
824-TX141	35	20	6.3	9	23.7
834-TM271	2.5	6.3	0.4	7	7.1
834-TM272	2.5	6.3	0.4	7	7.1
834-TM281	2.5	6.3	0.4	7	7.1
547-SR01TM1	0.5	6.3	0.725	7	4.7
547-FN09TM1	3.125	6.3	6	7	11.41
548-SR01TM1	0.5	6.3	0.725	7	4.7
548-FN09TM1	3.125	6.3	6	7	11.41

Tabel 3.6. Daftar 3 *Winding Transformator*

ID Trafo	Winding	MVA	kV	%Z	X/R
814.TX1	Primary	60	150	12.5	30
	Secondary	60	20	12.5	30
	Tertiary	5	20	12.5	30

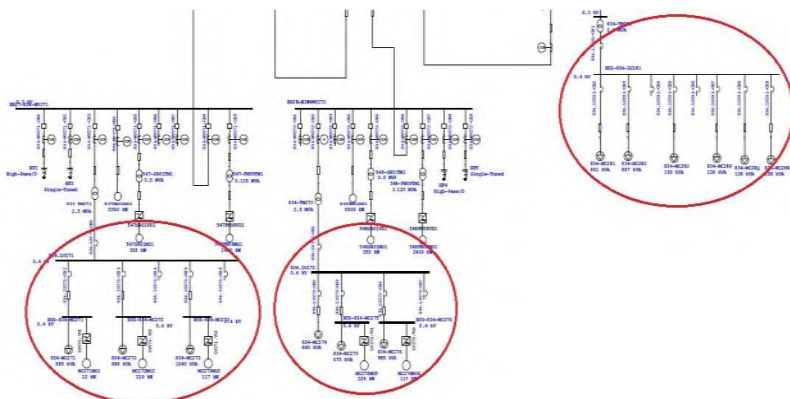
Setelah melakukan studi *Load Flow* dengan mendapatkan Power Factor (PF) yang baik dan bagus, maka dilakukan studi *Short Circuit* (SC). Studi *Short Circuit* ini bertujuan untuk mendapatkan proteksi yang baik saat terjadi gangguan hubung singkat pada sistem kelistrikan di PT. Semen Gresik Pabrik Tuban IV. Hasil pengujian hubung singkat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Uji Short Circuit pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Gresik Tuban IV Finish Mill

3.3.2 Penggunaan Software Easypower

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, metode yang digunakan adalah Metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*). Metode ini digunakan pada software Easypower 9.8. Telah dijelaskan pada Bab 2, Metode ZSI ini berfungsi sebagai pengurangan insiden energy *Arc Flash*. Lokasi yang akan diterapkan metode ZSI ini agar insiden energy *Arc Flash* bisa berkurang dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Lokasi yang diambil untuk Simulasi ZSI

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

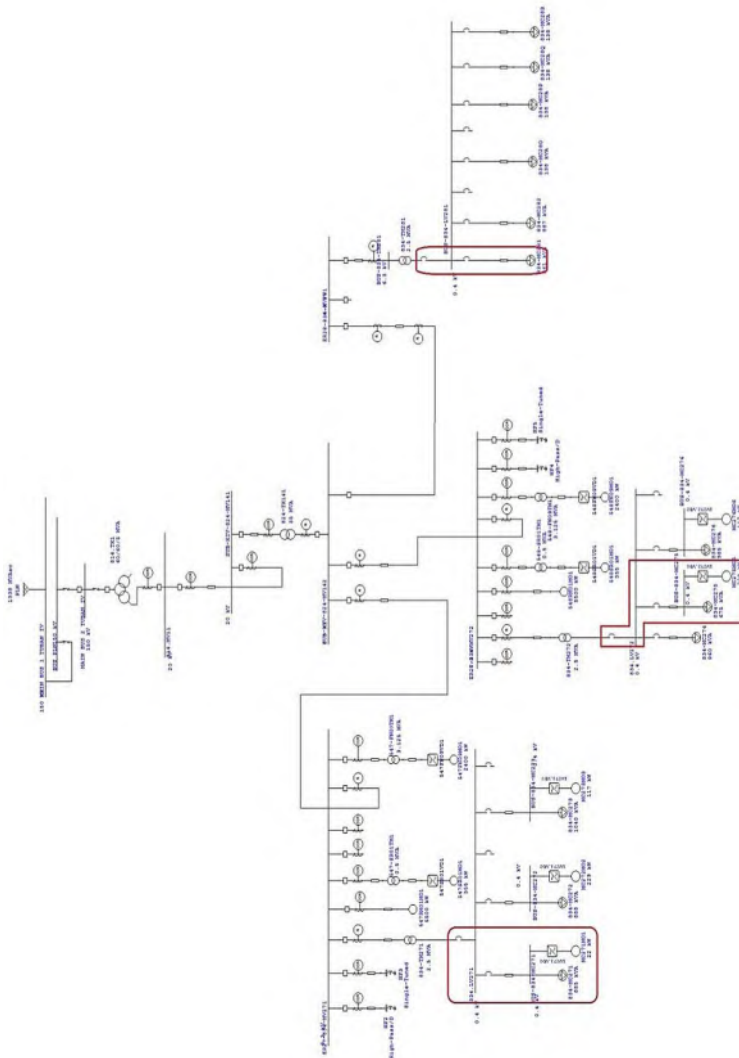
4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan

Pada pembahasan tugas akhir ini, peningkatan proteksi terhadap busur api sangatlah penting pada sistem tegangan rendah 0.4 kV pada PT. Semen Gresik (Persero) Tbk Pabrik Tuban IV. Peningkatan proteksi bertujuan untuk mengurangi insiden energi yang menggunakan metode *zone selective interlocking* (ZSI). Analisa yang dilakukan memiliki 2 tahap yaitu analisa sistem pengaman eksisting dan analisa sistem pengaman *resetting*. Jika ada kesalahan dalam koordinasi sistem pengaman *existing*, maka akan dilakukan *resetting* kemudian implementasi metode ZSI untuk mengurangi insiden energi.

Dalam melakukan analisa, simulasi yang digunakan adalah ETAP 12.6 dimana didalamnya terdapat fitur untuk mendapatkan nilai aliran daya (*Load Flow*) dan hubung singkat (*Short Circuit*). Hal pertama yang dilakukan pada *Software* Etap adalah studi *Load Flow* yang bertujuan untuk mengetahui keadaan sistem kelistrikan yang ada agar diketahui sistem kelistrikan dalam keadaan baik atau tidak, dan mengetahui sistem tidak dalam keadaan beban lebih. Simulasi hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat antar fasa minimum (30 *cycle*) dan hubung singkat maksimum 3 fasa (0,5 *cycle*).

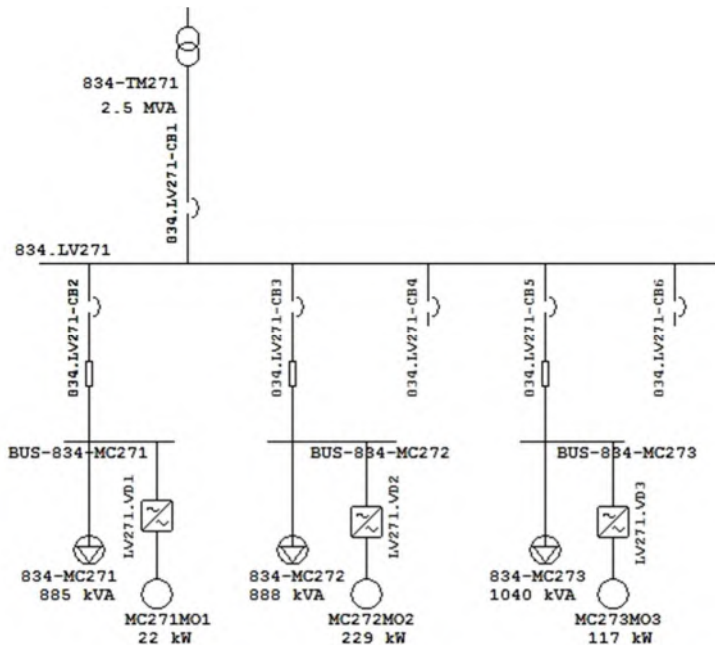
Data yang telah diperoleh dari *software* ETAP yang telah dilakukan simulasi hubung singkat digunakan untuk memperbaiki koordinasi pengaman agar didapatkan proteksi yang mampu mengamankan peralatan dari gangguan. Hasil dari setting pengaman digunakan untuk menghitung insiden energi *arc flash* yang terjadi. Tahap terakhir adalah untuk mensimulasikan metode ZSI dengan menggunakan *software* *easypower* 9.6, dengan tujuan mengurangi insiden energi pada sistem kondisi *resetting*.

Tugas akhir ini memilih 3 tipikal permodelan tegangan rendah hingga tegangan menengah 0.4 – 6.3 kV yang mewakili sistem pengamanan pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk (*plant* Semen Gresik Tuban IV). Ketiga tipikal tersebut yaitu tipikal 1 834.LV271 , tipikal 2 834.LV272 dan tipikal 3 834.LV281. Detail dari ketiga tipikal dapat dilihat pada gambar 4.2 tipikal 1 834.LV271, gambar 4.3 tipikal 2 834.LV272, dan gambar 4.4 tipikal 3 834.LV281.



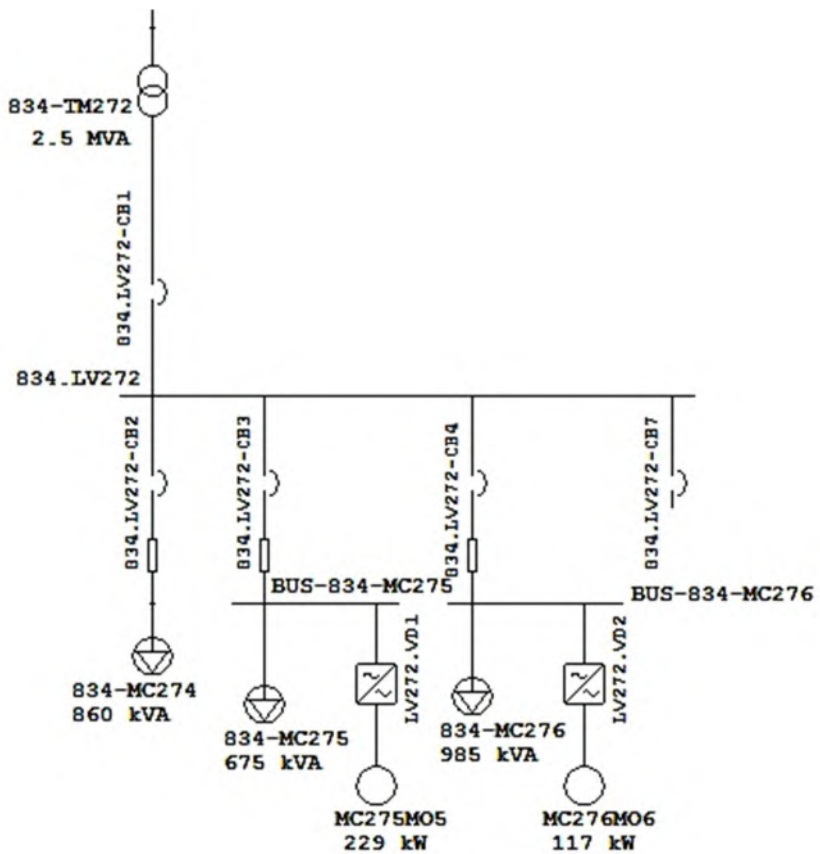
Gambar 4.1 Gambar Single Line Diagram PT. Semen Indonesia (plant Semen Gresik Pabrik Tuban IV).

Pada Tipikal 1 terdapat beberapa beban. Pada tipikal 1 834.LV271 ini terdapat beban motor dengan besaran kapasitas yang berbeda-beda yaitu 3 unit motor dengan kapasitas 22 kW , 229 kW dan 117 kW. Tipikal 1 ini juga tidak hanya memiliki beban motor melainkan beban Lumped Load yang memiliki tiga besaran kapasitas beban yang berbeda-beda yaitu 885 kVa , 888 kVa dan 1040 kVa seperti terlihat pada gambar 4.2.



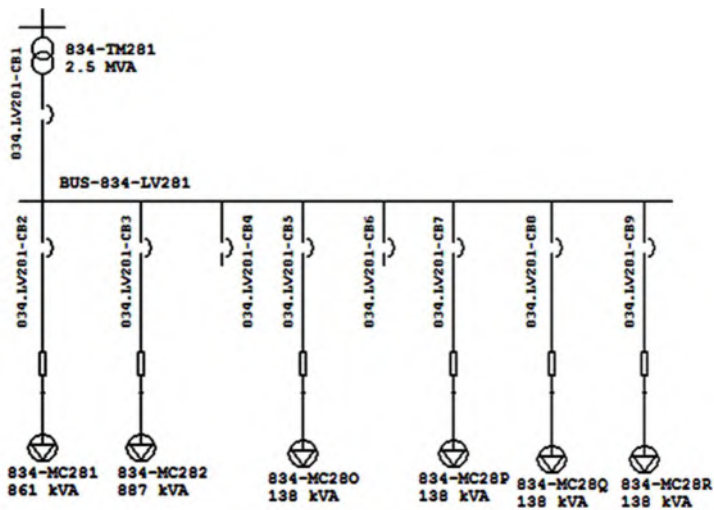
Gambar 4.2 Tipikal 1 834.LV271

Pada tipikal 2 834.LV272 ini memiliki beban motor dengan besaran kapasitas yang berbeda-beda. Terlihat pada gambar 4.3 tipikal 2 834.LV272 memiliki beban motor dan lumped load. Pada beban motor di tipikal 2 ini memiliki 2 motor yang besaran kapasitasnya berbeda – beda yaitu 229 kW dan 117 kW, sedangkan beban Lumped Load memiliki 3 beban yang besaran kapasitasnya berbeda – beda yaitu 860 kVA , 675 kVA dan 985 kVA.



Gambar 4.3 Tipikal 2 834.LV272

Pada tipikal 3 834.LV281 memiliki 6 beban dengan beban yang sama yaitu Lumped Load. pada tipikal 3 ini, beban Lumped Load memiliki besaran kapasitas yang berbeda – beda yaitu 861 kVA , 887 kVA dan 4 beban dengan kapasitas 138 kVA seperti pada gamabar 4.4.



Gambar 4.4 Tipikal 3 834.LV281

4.2 Pengaturan Sistem Pengaman Arus Lebih

Setting peralatan pengaman arus lebih harus memperhatikan *setting* untuk beban penuh dan *setting* untuk hubung singkat. *Setting* beban penuh adalah nominal *rating* arus beban penuh (*full load ampere*) peralatan, bukan *operating current* yang berdasarkan pada kondisi beban mekanis (untuk motor) atau beban listrik. Hal ini disebabkan ketahanan peralatan ditujukan terhadap arus gangguan yang lebih besar dari nominal *rating*-nya. *Setting* pengaman hubung singkat harus memperhitungkan arus hubung singkat minimum dan maksimum yang diakibatkan oleh konfigurasi sistem. Arus hubung singkat diperoleh dengan menghitung impedansi sistem yang mengalami gangguan hubung singkat.

4.3 Simulasi Hubung Singkat

Tugas akhir ini menggunakan ETAP 12.6 untuk mensimulasikan arus hubung singkat, sehingga dapat diperoleh nilai besaran arus hubung singkat pada bus yang telah ditentukan. Besaran nilai arus hubung singkat dari ketiga tipikal pada PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Pabrik Tuban IV) terdapat pada tabel 4.1, tabel 4.2, dan tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data *Short Circuit* Pada Tipikal 1

Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
834.LV271	0,4	61,09	43,07

Tabel 4.2 Data *Short Circuit* Pada Tipikal 2

Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
834.LV272	0,4	33,99	43,04

Tabel 4.3 Data *Short Circuit* Pada Tipikal 3

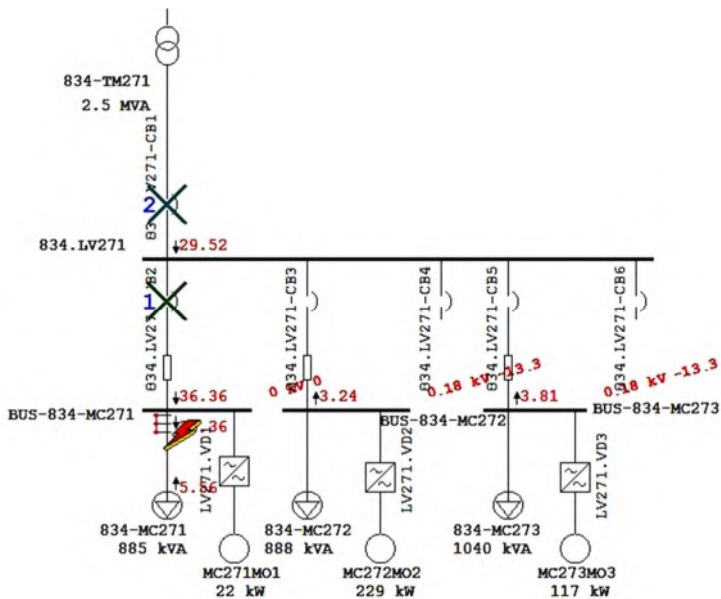
Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
834-LV281	0,4	57,16	42,14

4.4 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman *Existing*

Pada kondisi ini, sistem pengaman dimodelkan sesuai dengan kondisi yang terpasang pada perusahaan saat ini. Data yang ada digunakan untuk memplot koordinasi sistem pengaman pada kondisi *existing*. Dengan tujuan untuk mengetahui sistem pengaman yang ada saat ini sudah baik dan benar atau tidak.

4.4.1 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1

Tipikal 1 pada Bus 834.LV271 dimulai dari beban Lumped Load 834-MC271, bus BUS-834-MC271, Bus 834.LV271, hingga 834-TM271. Tipikal ini terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah 834.LV271-CB2 dan 834.LV271-CB1. Permodelan sistem pengaman *existing* tipikal 1 dapat dilihat pada gambar 4.5.



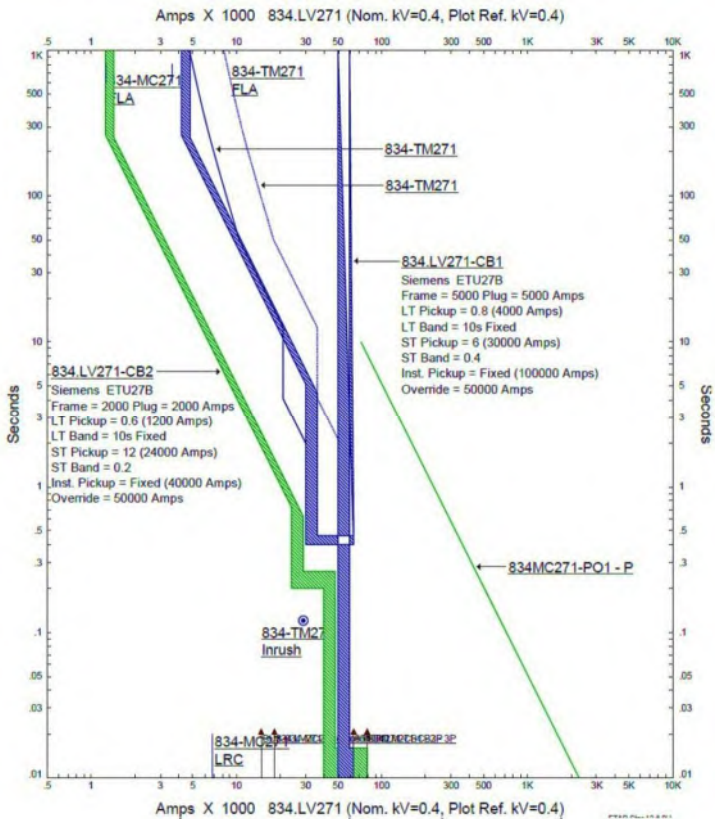
Gambar 4.5 Sistem Pengaman Tipikal 1

Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Lumped Load 834-MC271 koordinasi pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah 834.LV271-CB2 sekaligus juga sebagai pengaman Bus-834-MC271. Apabila gagal, maka sebagai pengaman terakhir adalah 834.LV271-CB1. 834.LV271-CB1 juga berfungsi untuk melindungi transformator 834-TM271 dan pengaman bus 834.LV271. Data dari *breaker existing* terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data *Breaker* Sistem Existing Tipikal 1

Breaker ID	Capacity (A)	Manufacture	Setting	
		Type		
834.LV271-CB2	2000	Siemens	LT Pick Up	0,6
834.LV271-CB1	5000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV271-CB3	2000	Siemens	LT Pick Up	0,7
834.LV271-CB5	2500	Siemens	LT Pick Up	0,7

Data tabel 4.4 digunakan sebagai nilai inputan untuk simulasi koordinasi sistem pengaman kondisi *existing*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui koordinasi sistem pengaman pada sistem kelistrikan tipikal 1. Kurva koordinasi disimulasikan pada ETAP 12.6 *star system* yang ditampilkan pada gambar 4.6. Simulasi *arc flash* pada tipikal 1 memiliki nilai insiden energi yang relatif kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Pabrik Tuban IV).

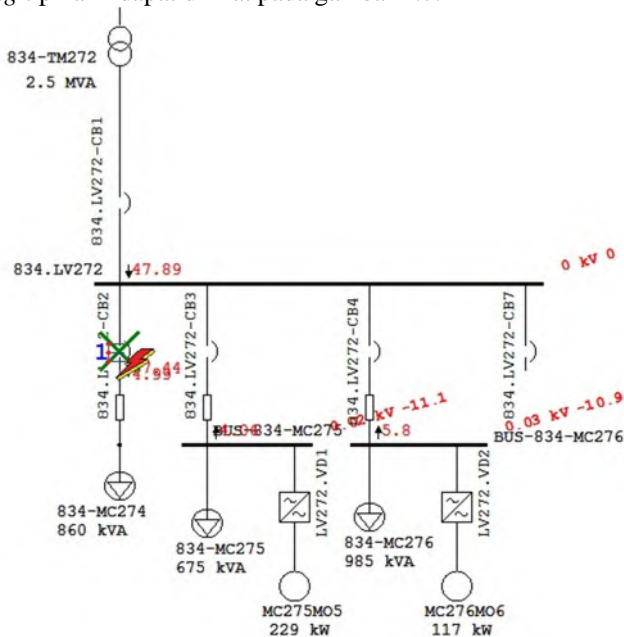


Gambar 4.6 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem koordinasi yang ada belum tepat. Ketika terjadi gangguan beban penuh pada lumped load 834-MC271 maka 834.LV271-CB2 lebih cepat trip dibandingkan 834.LV271-CB1. Hal ini disebabkan setting karena curva pada bagian Long Time 834.LV271-CB2 di setting lebih cepat daripada 834.LV271-CB1. Dengan setting relay seperti ini membuat 834.LV271-CB2 kurang beroperasi dengan baik.

4.4.2 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2

Tipikal 2 pada 834.LV272 dimulai dari beban motor Lumped Load 860 kVA, bus 834.LV272, hingga 834-TM272. Tipikal ini terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-834.LV272-CB2 dan 834.LV272-CB1. Permodelan sistem pengaman *existing* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.7.



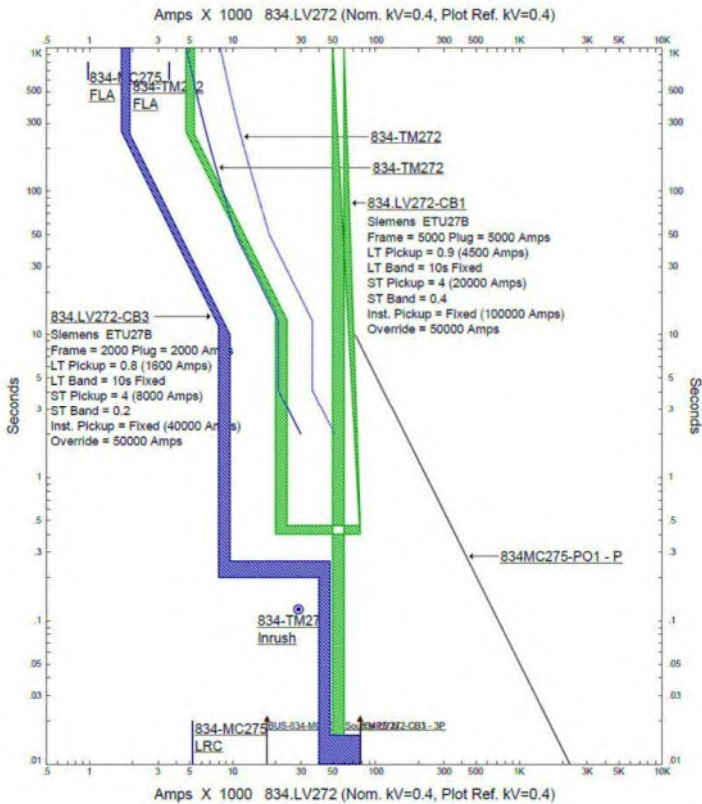
Gambar 4.7 Sistem Pengaman Tipikal 2

Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada Lumped Load 860 kVA , koordinasi sistem pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah 834.LV272-CB2. Apabila gagal, sebagai pengaman terakhir adalah 834.LV272-CB1. 834.LV272-CB1 juga berfungsi untuk melindungi transformator 834-TM272 dan sebagai pengaman Bus 834.LV272. Data dari *breaker existing* terdapat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data *Breaker* Sistem *Existing* Tipikal 2

Breaker ID	Capacity (A)	Manufacture	Setting	
		Type		
834.LV272-CB1	5000	Siemens	LT Pick Up	0,9
834.LV272-CB2	2000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV272-CB3	2000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV272-CB4	2500	Siemens	LT Pick Up	0,9

Simulasi *arc flash* pada tipikal 2 memiliki insiden energi yang kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia (*plant* Semen Gresik Tuban IV). Kurva plot koordinasi sistem pengaman diperoleh dari hasil simulasi ETAP 12.6 *Star System*. Gambar 4.8 menunjukkan hasil plot kurva koordinasi sistem pengaman pada tipikal 2.

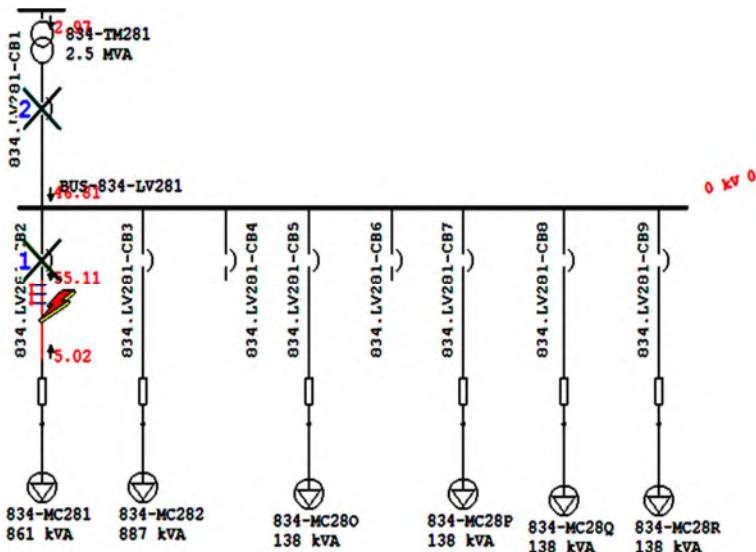


Gambar 4.8 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem koordinasi yang ada kurang tepat. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada Lumped Load 860 kVA maka 834.LV272-CB2 trip kemudian 834.LV272-CB1 tidak mengalami *trip* melainkan CB sebelum trafo yang mengalami *trip*. Hal ini disebabkan karena kurangnya setting relay pada 834.LV272-CB1 dan dampak yang akan ditimbulkan adalah transformator 834-TM272 akan mengalami gangguan saat terjadi hubung singkat di daerah tipikal 2. Sehingga 834.LV272-CB1 tidak dapat difungsikan sebagai *back up* 834.LV272-CB2.

4.4.3 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 3

Permodelan sistem pengam existing tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.9. Tipikal 3 dimulai dari Lumped Load 834-MC281, bus BUS-834-LV281, hingga 834-TM281. Pada Tipikal 3 terdapat beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah 834.LV281-CB2 dan 834.LV281-CB1.



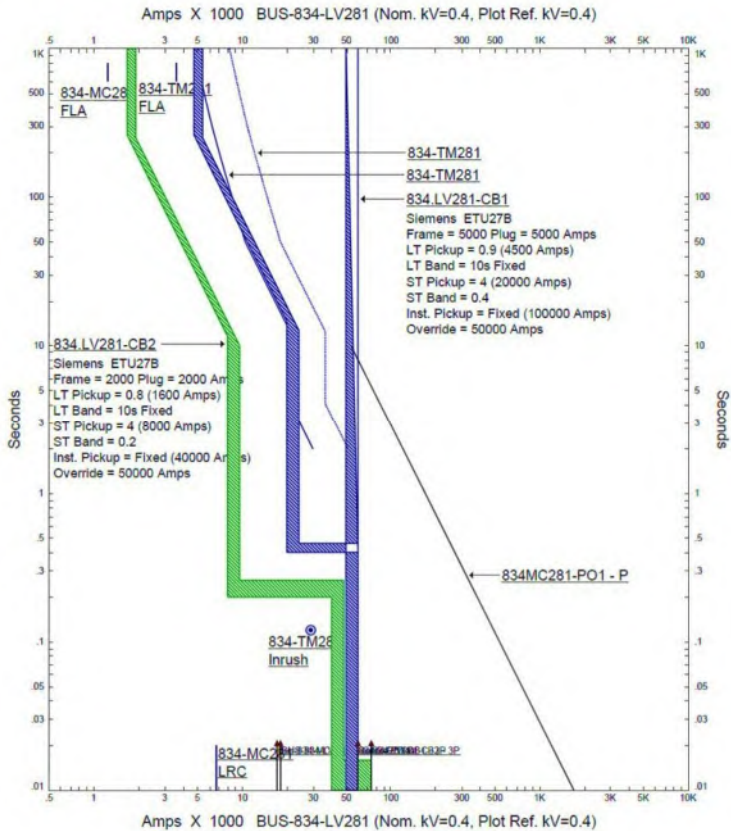
Gambar 4.9 Sistem Pengaman Tipikal 3

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada Lumped Load 834-MC281 maka sebagai pengaman gangguan pertama seharusnya adalah 834.LV281-CB2, ketika gagal mengamankan gangguan maka 834.LV281-CB1 menjadi backup dari 834.LV281-CB2. 834.LV281-CB1 berfungsi sebagai pengaman 834-TM281 dan pengaman bus BUS-834-LV281. Tabel 4.6 adalah data *existing* CB pada BUS-834-LV281. Data pada tabel ini memuat data keseluruhan CB yang ada pada BUS-834-LV281. Data ini digunakan sebagai inputan dalam mensimulasikan pada ETAP *star system*.

Tabel 4.6 Data *Breaker* Sistem *Existing* Tipikal 3

Breaker ID	Capacity (A)	Manufacture	Setting	
		Type		
834.LV281-CB1	5000	Siemens	LT Pick Up	0,9
834.LV281-CB2	2000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV281-CB3	2000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV281-CB5	1000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV281-CB7	1000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV281-CB6	1000	Siemens	LT Pick Up	0,8
834.LV281-CB7	1000	Siemens	LT Pick Up	0,8

Plot kurva koordinasi tipikal 3 yang telah disimulasikan pada ETAP 12.6 *star system* dapat dilihat pada gambar 4.10. Simulasi *arc flash* pada tipikal 3 ini masih memiliki insiden energi yang relatif kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada.



Gambar 4.10 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3

4.5 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman *Resetting*

Hasil simulasi kondisi *existing* didapatkan koordinasi sistem proteksi yang kurang tepat pada tipikal 1, 2 dan tipikal 3. Untuk mendapatkan koordinasi sistem pengaman yang selektif dan memenuhi standar maka pada tugas akhir ini dilakukan *resetting* pada tipikal tersebut. Setelah didapatkan kondisi *resetting*, maka tahap selanjutnya dilakukan analisa mengenai *arc flash* menggunakan standar IEE1584-2002 untuk mengetahui nilai besaran energi *arc flash*. Simulasi *arc flash* ini menggunakan *software* ETAP 12.6.

4.5.1 Simulasi Koordinasi Pengaman *Resetting*-Tipikal 1

a. 834.LV271-CB2

FLA 834-MC271	: 1322 A
Isc minimum	: 37,30 kA
Isc maksimum	: 39,86 kA
<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Type</i>	: 3WL12S50
<i>Sensor</i>	: 2000
<i>Plug</i>	: 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1322 < \text{Iset} < 1,4 \times 1322$$

$$1388,1 < \text{Iset} < 1718,6$$

Dipilih Iset = 1400 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 0,7$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10s Fixed

Short Time Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$1,6 \times 1322 < \text{Iset} < 0,8 \times 37300$$

$$2115,2 < \text{Iset} < 29840$$

Dipilih Iset = 8000 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 4$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. 834.LV271-CB1

FLA	: $1322+1282+386.9+1501+216.5 =$ 4708,4 A
Isc minimum	: 37,30 kA
Isc maksimum	: 61,09 kA
<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Type</i>	: 3WL13H50

Sensor : 5000
Plug : 5000

Long Time Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 4708,4 < \text{Iset} < 1,4 \times 4708,4$
 $4943,82 < \text{Iset} < 6120,9$
Dipilih Iset = 5000 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 1$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10S Fixed

Short Time Pickup

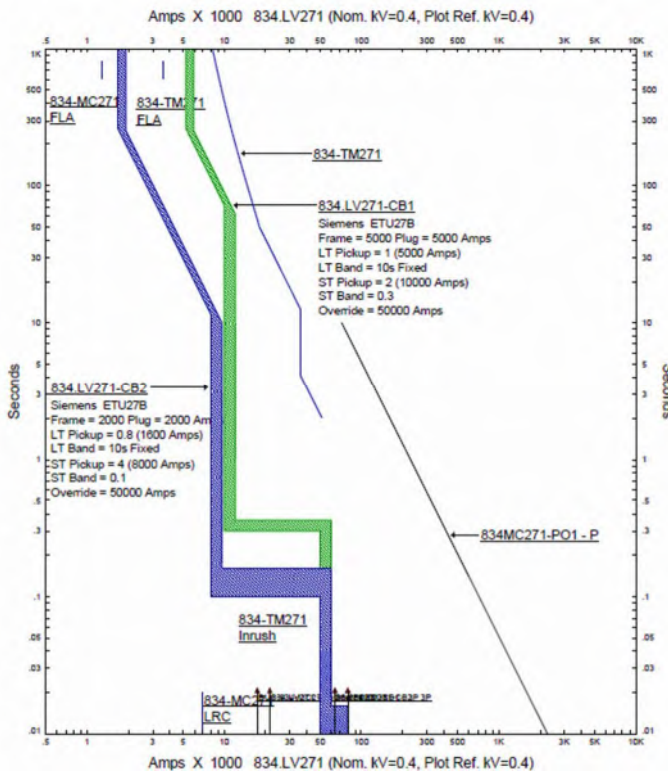
$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$
 $1,6 \times 4708,4 < \text{Iset} < 0,8 \times 37300$
 $7533,44 < \text{Iset} < 29840$
Dipilih Iset = 10000 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 2$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,3s

Gambar 4.11 adalah gambar plot koordinasi sistem pengaman setelah *reseting* tipikal 1 menunjukkan datil dari hasil simulasi *arc flash* pada kondisi *reseting*.



Gambar 4.11 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 1

Tabel 4.7 Simulasi Arc Flash Kondisi *Reseting* Tipikal 1

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Kategori PPE
BUS-834-MC271	20,1	12,16	1,455	2
BUS-834.LV271	28,799	40,35	2,651	> 4

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan Standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. BUS-834-MC271

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,92 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,92) - 0,00304 \times 13 (\lg 39,92)$$

$$\lg I_a = 1,30312$$

$$I_a = 20,097 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,097 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,3787$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,3787 \left(\frac{0,123}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 50,6979 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 12,16 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,3787 \left(\frac{0,123}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1455,8488 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,455 \text{ m}$$

b. BUS-834.LV271

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 61,085 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 61,085) - 0,00304 \times 13 (\lg 61,085)$$

$$\lg I_a = 1,4593$$

$$I_a = 28,799 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 28,799 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 10,8864$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 10,8864 \left(\frac{0,28}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 168,144 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 40,35 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 10,8864 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 2651,321 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,651 \text{ m}$$

4.5.2 Simulasi Koordinasi Pengaman *Resetting*-Tipikal 2

a. 834.LV272-CB3

FLA BUS-834-MC275	: 1358
Isc minimum	: 37,27 kA
Isc maksimum	: 59,34 kA
<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Type</i>	: 3WL12S50
<i>Sensor</i>	: 2000
<i>Plug</i>	: 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1358 < I_{set} < 1,4 \times 1358$$

$$1425,9 < I_{set} < 1765,4$$

Dipilih $I_{set} = 1600 \text{ A}$

$$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = 0,8$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10s Fixed

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}}$$

$$1,6 \times 1358 < I_{set} < 0,8 \times 37270$$

$$2172,8 < I_{set} < 29816$$

Dipilih $I_{set} = 8000 \text{ A}$

$$ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = 4$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. 834.LV271-CB1

$$FLA : 1241+974,3+386,9+1422+216,5 = 4240,7 \text{ A}$$

$$I_{sc \text{ minimum}} : 37,27 \text{ kA}$$

$$I_{sc \text{ maksimum}} : 59,34 \text{ kA}$$

$$Manufacture : Siemens$$

$$Type : 3WL13H50$$

$$Sensor : 5000$$

$$Plug : 5000$$

Long Time Pickup

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$$

$$1,05 \times 4240,7 < I_{set} < 1,4 \times 4240,7$$

$$4452,73 < I_{set} < 5512,9$$

Dipilih $I_{set} = 4500 \text{ A}$

$$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = 0,9$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10S Fixed

Tabel 4.8 Simulasi *Arc Flash* Kondisi *Reseting* Tipikal 2

ID	<i>Arching Current</i> (Ia)	<i>Incident Energi</i> (cal/cm ²)	<i>Protection Boundary</i> (m)	Katagori PPE
BUS-834-MC275	19,458	19,08	1,823	2
BUS-834.LV271	28,1	39,3	2,618	3

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan Standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. BUS-834-MC275

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 38,429 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 38,429) - 0,00304 \times 13 (\lg 38,429)$$

$$\lg I_a = 1,2890$$

$$I_a = 19,458 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 19,458 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,1255$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,1255 \left(\frac{0,199}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 79,526 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 19,08 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,1255 \left(\frac{0,199}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1823,377 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,823 \text{ m}$$

b. BUS-834.LV272

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 59,336 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 59,336) - 0,00304 \times 13 (\lg 59,336)$$

$$\lg I_a = 1,4487$$

$$I_a = 28,1 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 28,1 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 10,6011$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 10,6011 \left(\frac{0,277}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 164,033 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 39,3 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 10,6011 \left(\frac{0,277}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 2618,707 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,618 \text{ m}$$

4.5.3 Simulasi Koordinasi Pengaman *Resetting*-Tipikal 3

a. 834.LV281-CB2

FLA BUS-834-MC275	: 1243
Isc minimum	: 36,49 kA
Isc maksimum	: 59,34 kA
<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Type</i>	: 3WL12S50
<i>Sensor</i>	: 2000
<i>Plug</i>	: 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 1243 < \text{Iset} < 1,4 \times 1243$$

$$1305,15 < \text{Iset} < 1615,9$$

Dipilih Iset = 1400 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 0,7$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10s Fixed

Short Time Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$1,6 \times 1243 < \text{Iset} < 0,8 \times 36490$$

$$1988,8 < \text{Iset} < 29192$$

Dipilih Iset = 4000 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = 2$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. 834.LV281-CB1

FLA	: 1243 + 1280 + 198.6 + 199.2 + 199.2 + 199.2 = 3319,2 A
Isc minimum	: 36,49 kA
Isc maksimum	: 59,34 kA
<i>Manufacture</i>	: Siemens
<i>Type</i>	: 3WL13H50
<i>Sensor</i>	: 5000
<i>Plug</i>	: 5000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 3319,2 < I_{set} < 1,4 \times 3319,2$$

$$3485,16 < I_{set} < 4315$$

Dipilih $I_{set} = 3500 \text{ A}$

$$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = 0,7$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 10S Fixed

Short Time Pickup

$$1,6 \times FLA < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ minimum}$$

$$1,6 \times 3319,2 < I_{set} < 0,8 \times 36490$$

$$5310,72 < I_{set} < 29192$$

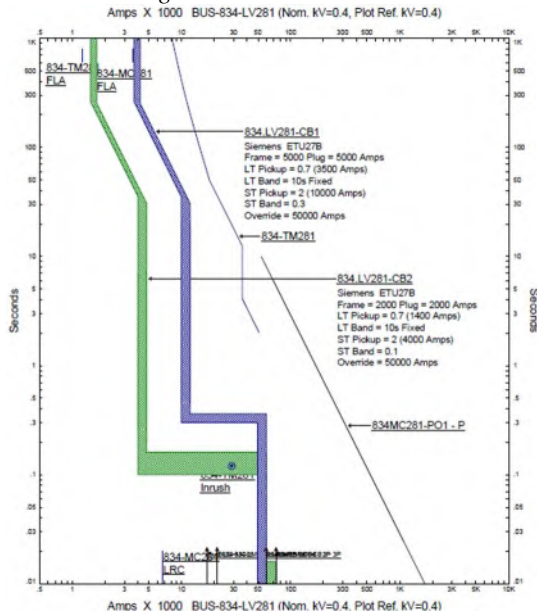
Dipilih $I_{set} = 10000 \text{ A}$

$$ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = 2$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,3s

Hasil plot koordinasi sistem pengaman setelah *reseting* tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.13 menunjukkan datil dari hasil simulasi *arc flash* pada kondisi *reseting*.



Gambar 4.13 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 3

Tabel 4.9 Simulasi *Arc Flash* Kondisi *Reseting* Tipikal 3

ID	<i>Arching Current</i> (Ia)	<i>Incident Energi</i> (cal/cm2)	<i>Protection Boundary</i> (m)	Katagori PPE
BUS-834-MC281	20,176	11,81	1,434	2
BUS-834.LV271	28,1	39,3	2,618	3

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan Standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. BUS-834-MC281

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 34,629 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 34,629) - 0,00304 \times 13 (\lg 34,629)$$

$$\lg I_a = 1,2508$$

$$I_a = 20,176 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,176 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,41014$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,4101 \left(\frac{0,118}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 49,2369 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 11,816 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,4101 \left(\frac{0,118}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1434,719 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,434 \text{ m}$$

b. BUS-834.LV272**Menentukan Nilai I_a**

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 57,162 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 57,162) - 0,00304 \times 13 (\lg 57,162)$$

$$\lg I_a = 1,43499$$

$$I_a = 27,226 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 27,226 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 10,245$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 10,245 \left(\frac{0,276}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 158,267 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 37,98 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 10,245 \left(\frac{0,276}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 2572,272 \text{ mm}$$

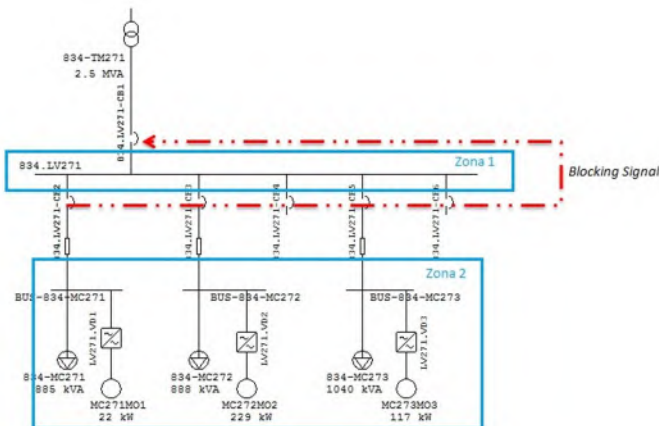
$$D_B = 2,572 \text{ m}$$

4.6 Implementasi Zone Selective Interlocking

Insiden energi *arc flash* dapat direduksi menggunakan metode-metode yang ada saat ini, salah satu metode yang ada yaitu ZSI. Implementasi ZSI dilakukan karena nilai insiden energi pada kondisi *reseting* masih cukup tinggi pada level tegangan 0,4 kV. Simulasi ZSI menggunakan *software easypower 9.7*. Hasil simulasi ini nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan katagori insiden energi setelah implementasi skema ZSI.

4.7 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1

Permodelan sistem kelistrikan tegangan rendah pada tipikal 1 dilakukan dengan membagi area zona pengamanan ZSI. Setiap zona akan diamankan oleh CB yang ada di daerah pengamanannya. Tipikal 1 terdapat pada 834.LV271 dengan pembagian zona pengamanan seperti terlihat pada gambar 4.14.



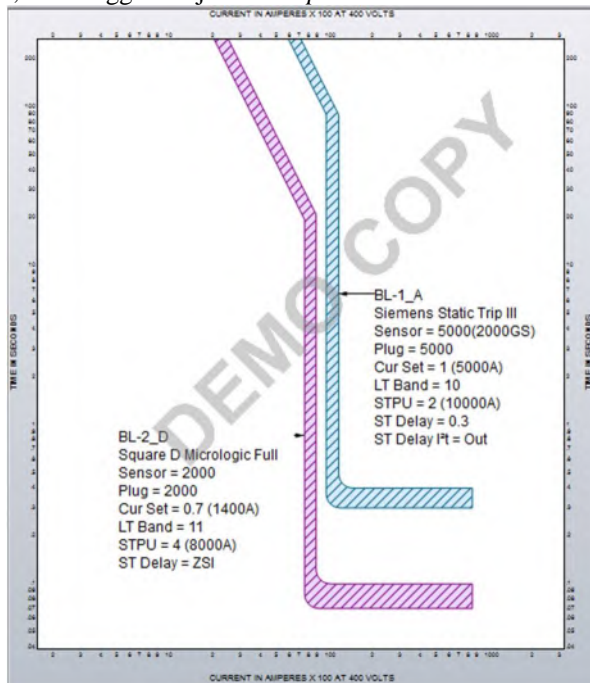
Gambar 4.14 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 1

Pengujian metode ZSI dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada Lumped Load 834-MC271, gangguan pada bus 834.LV271. Simulasi pengurangan insiden energi *arc flash* dengan menggunakan fasilitas *mode on* dan *mode of* ZSI pada *software easypower 9.7*. ZSI bekerja sesuai keputusan untuk *trip* dengan atau tanpa waktu delay yang tergantung pada lokasi

gangguan *blocking signal*. Saat terjadi gangguan maka CB yang merasakan gangguan mengirimkan *blocking signal* pada CB yang terdapat pada sisi bagian atas untuk menahan waktu ZSI dan mengaktifkan *time delay*. Sedangkan ketika CB yang merasakan gangguan namun tidak menerima *blocking signal* akan *trip* seketika sesuai dengan waktu ZSI tanpa waktu delay koordinasi proteksi.

4.7.1 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Gangguan Pada BUS-834-MC271

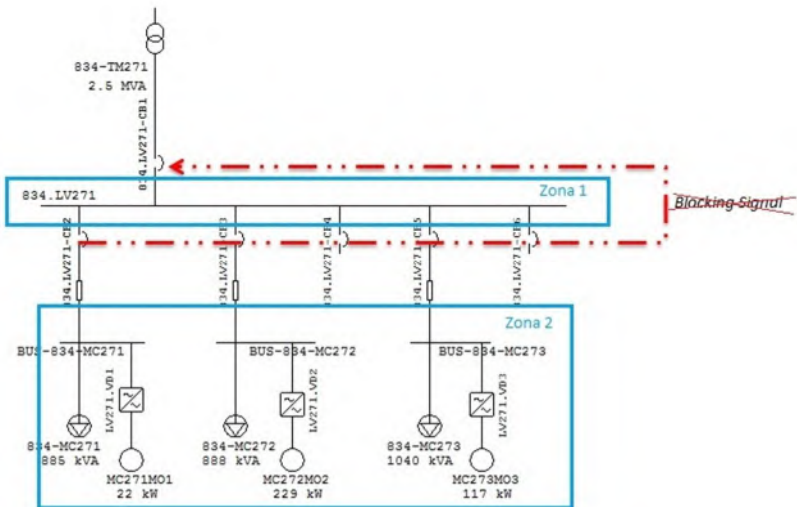
Ketika terjadi gangguan pada BUS-834-MC271 di tipikal 1 seperti terlihat pada gambar 4.15, maka 2 CB dengan zona pengamanan berbeda merasakan gangguan yaitu 834.LV271-CB2, 834.LV271-CB1. 834.LV271-CB2 mengirimkan *blocking signal* untuk 834.LV271-CB1 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *preset time delay* sebesar 0,1s sehingga menjadi *backup* 834.LV271-CB2.



Gambar 4.15 Plot Kurva TCC Gangguan Pada BUS-834-MC271 Tipikal 1

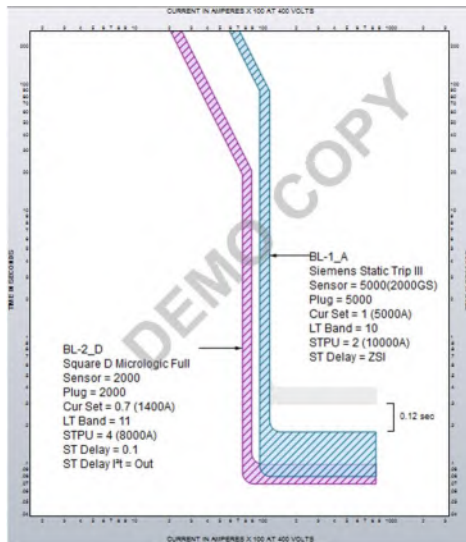
4.7.2. Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Gangguan Pada Bus 834.LV271

Ketika terjadi gangguan pada bus MCC-6A seperti terlihat pada gambar 4.16, CB yang merasakan gangguan adalah 834.LV271-CB1 yang merupakan pengaman area zona 1.



Gambar 4.16 Gangguan Pada Bus 834.LV271

834.LV271-CB1 adalah pengaman terakhir yang akan mengaktifkan waktu ZSI apabila tidak mendapatkan *blocking signal* dari pengaman zona 2 yaitu 834.LV271-CB2. Karena gangguan terjadi di luar daerah pengamanan 834.LV271-CB2 maka CB tersebut tidak dapat merasakan adanya gangguan yang mengakibatkan tidak adanya *blocking signal* yang dikirimkan pada 834.LV271-CB1. Maka 834.LV271-CB1 mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* 0,08s. Plot kurva TCC pada gangguan bus 834.LV271 dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Plot Kurva TCC Gangguan Bus 834.LV271

4.7.3. Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Tabel 4.10 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI.

Tabel 4.10 Simulasi Arc Flash Metode ZSI Tipikal 1

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
BUS-834-MC271	15,275	7,716	1,159	1
Bus 834.LV271	22,697	27,584	2,192	3

Berikut adalah perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002.

a. BUS-834-MC271**Menentukan Nilai I_a**

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,153 + 0,662 \times \lg 35,87 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 35,87) - 0,00304 \times 32 (\lg 35,87)$$

$$\lg I_a = 1,18398$$

$$I_a = 15,275 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 15,275 + 0,0011 \times 32}$$

$$E_n = 5,7555$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,7555 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 32,1502 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,716 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,7555 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1159,346 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,159 \text{ m}$$

b. Bus 834.LV271**Menentukan Nilai I_a**

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 59,29 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 59,29) - 0,00304 \times 32 (\lg 59,29)$$

$$\lg I_a = 1,3559$$

$$I_a = 22,697 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$\begin{aligned} E_n &= 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G} \\ E_n &= 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 22,697 + 0,0011 \times 32} \\ E_n &= 8,8308 \end{aligned}$$

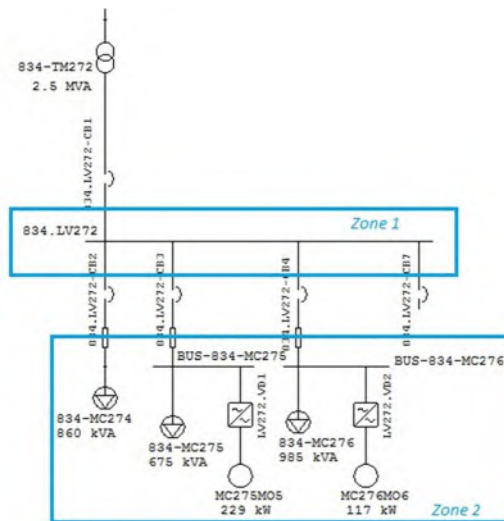
$$\begin{aligned} E &= 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 8,8308 \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right) \\ E &= 114,936 \text{ J/cm}^2 \times 0,24 \\ E &= 27,584 \text{ cal/cm}^2 \\ \text{Jarak kerja} &= 45,72 \text{ cm} \\ \text{Katagori (NFPA 70E 2015)} &= 2 \end{aligned}$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$\begin{aligned} D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ D_B &= \left[4,184 \times 1,5 \times 8,8308 \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \\ D_B &= 2192,048 \text{ mm} \\ D_B &= 2,192 \text{ m} \end{aligned}$$

4.8. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2

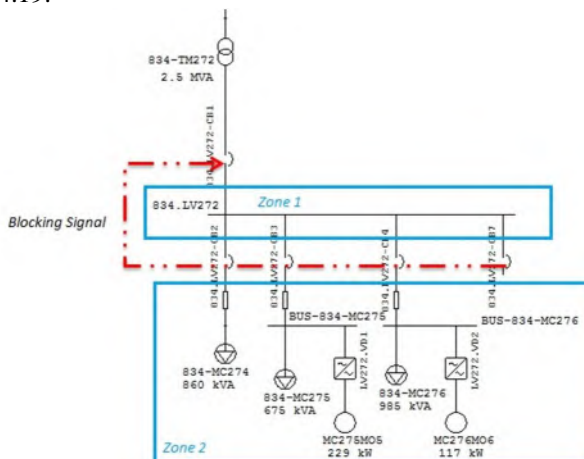
Pengujian metode ZSI tipikal 2 dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada BUS-834-MC275 dan gangguan pada bus 834.LV272. Pembagian area zona pengamanan pada tipikal 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.18 Pengujian metode ZSI tipikal 2

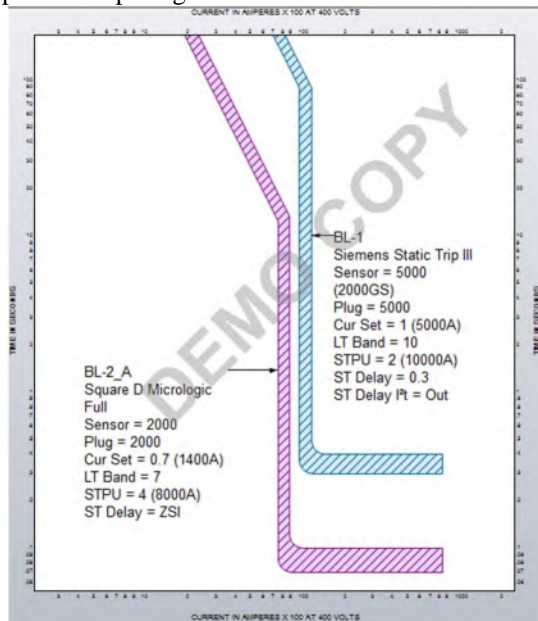
4.8.1. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada BUS-834-MC275

Pada saat ada gangguan pada BUS-834-MC275 seperti terlihat pada gambar 4.19.



Gambar 4.19 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 2

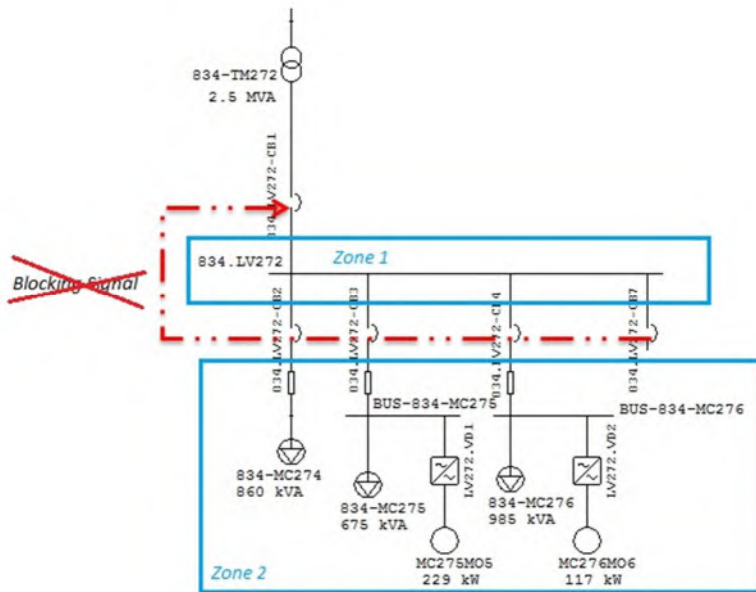
Kedua CB dengan zona pengamanan berbeda dapat merasakan gangguan yaitu 834.LV272-CB3 dan 834.LV272-CB1. Pada saat terjadi gangguan, 834.LV272-CB3 mengirimkan *blocking signal* untuk 834.LV272-CB1 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,1s sehingga menjadi *backup* 834.LV272-CB1 apabila terjadi kegagalan. Plot kurva TCC gangguan pada BUS-834-MC275 dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Plot kurva TCC gangguan pada BUS-834-MC275

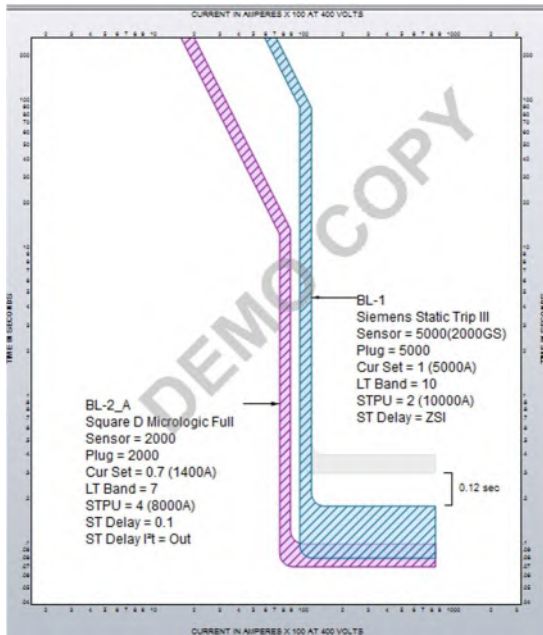
4.8.2. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada Bus 834.LV272

Ketika terjadi gangguan pada bus 834.LV272 seperti terlihat pada gambar 4.21, CB yang merasakan gangguan adalah 834.LV272-CB1 yang merupakan pengamanan area zona 1.



Gambar 4.21 Gangguan pada bus 834.LV272

834.LV272-CB1 merupakan pengaman terakhir yang akan mengaktifkan waktu ZSI apabila tidak mendapatkan *blocking signal* dari pengaman zona 2 yaitu 834.LV272-CB3. Karena gangguan terjadi di luar daerah pengamanan 834.LV272-CB3 maka kedua CB tersebut tidak dapat merasakan adanya gangguan yang mengakibatkan tidak adanya *blocking signal* yang dikirimkan pada 834.LV272-CB1. Maka 834.LV272-CB1 akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* (0,3s) sesuai dengan waktu *clearing time* sebesar 0,08s. Plot kurva TCC pada gangguan bus 834.LV272 dapat dilihat pada gambar 4.22, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa 834.LV272-CB1 *trip* dengan waktu ZSI, terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,12s dari kurva awal sebelum ZSI.



Gambar 4.22 Plot kurva TCC pada gangguan bus 834.LV272

4.8.3. Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 2 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Pada tabel 4.11 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI di tipikal 1.

Tabel 4.11 Simulasi Arc Flash Metode ZSI Tipikal 2

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
BUS-834-MC275	15,27	7,7133	1.159	1
834.LV272	22,686	27,57	2,1914	3

Berikut adalah perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002.

a. BUS-834-MC275

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,153 + 0,662 \times \lg 35,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 35,86) - 0,00304 \times 32 (\lg 35,86)$$

$$\lg I_a = 1,1838$$

$$I_a = 15,27 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai Incident Energy Arc Flash

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 15,27 + 0,0011 \times 32}$$

$$E_n = 5,7534$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,7534 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 32,1388 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,7133 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan Flash-Protection Boundary

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,7534 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1159,141 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,159 \text{ m}$$

b. BUS 834.LV272

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 59,25 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 59,25) - 0,00304 \times 32 (\lg 59,25)$$

$$\lg I_a = 1,35575$$

$$I_a = 22,686 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{\frac{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}{0,2}}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 22,686 + 0,0011 \times 32}$$

$$E_n = 8,8262$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 8,8262 \left(\frac{0,233}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 114,876 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 27,570 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

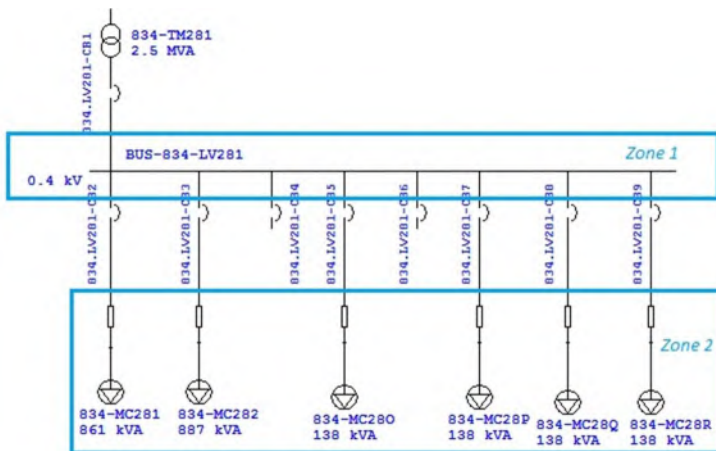
$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 8,8262 \left(\frac{0,23}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 2191,474 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,191 \text{ m}$$

4.9. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 3

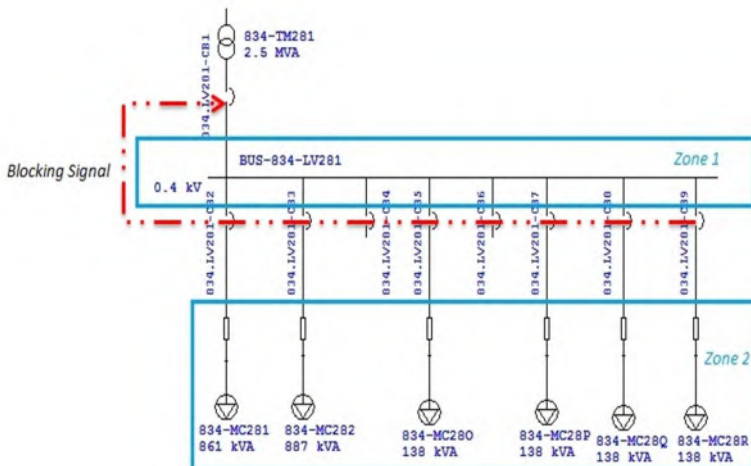
Pengujian metode ZSI tipikal 3 dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada BUS-834-MC275 dan gangguan pada bus 834.LV272. Pembagian area zona pengamanan pada tipikal 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Pengujian metode ZSI tipikal 3

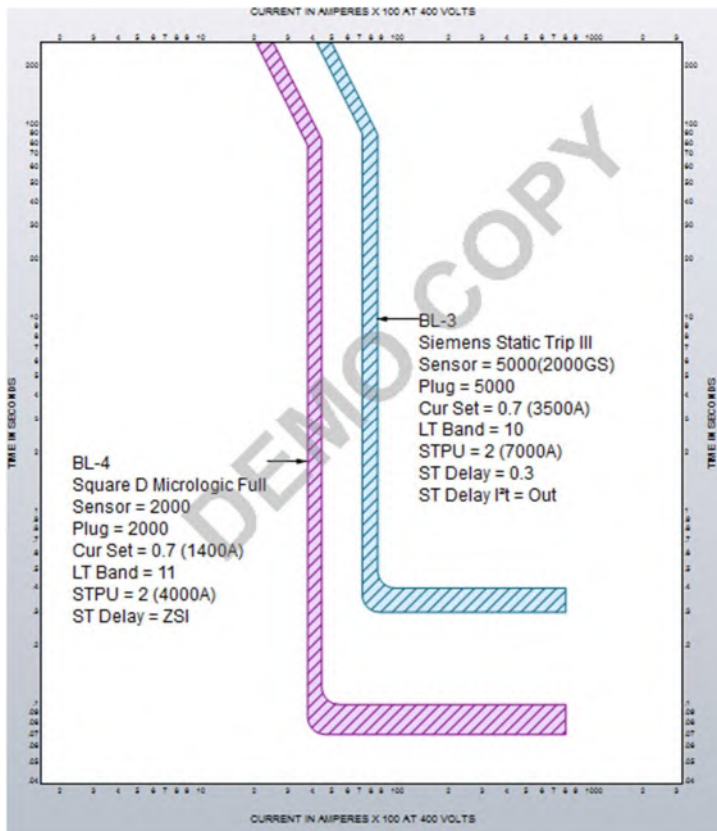
4.9.1. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada BUS-834-MC275

Pada saat ada gangguan pada Bus-834-MC281 seperti terlihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.24 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 3

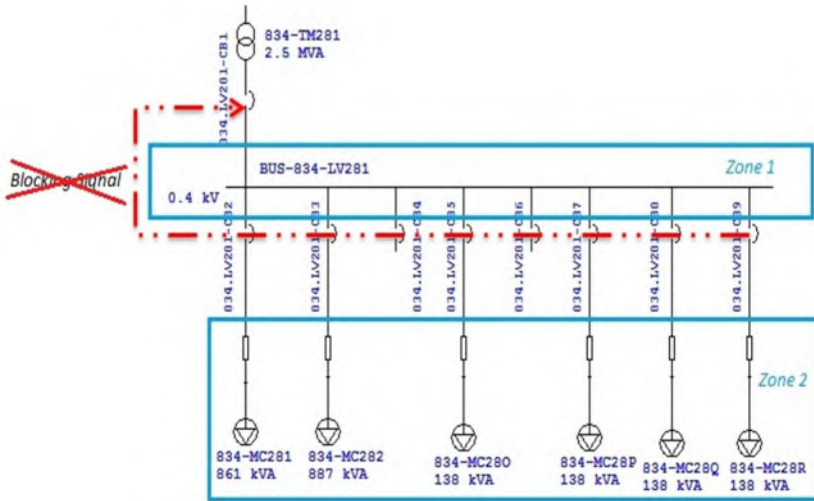
Kedua CB dengan zona pengamanan berbeda dapat merasakan gangguan yaitu 834.LV281-CB2 dan 834.LV281-CB1. Pada saat terjadi gangguan , 834.LV281-CB2 mengirimkan *blocking signal* untuk 834.LV281-CB1 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,1s sehingga menjadi *backup* 834.LV281-CB1 apabila terjadi kegagalan. Plot kurva TCC gangguan pada Bus-834-MC281 dapat dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4.25 Plot kurva TCC gangguan pada Bus-834-MC281

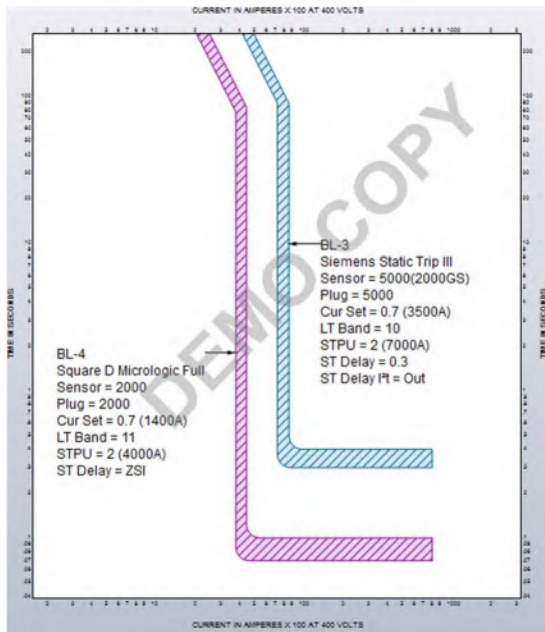
4.9.2. Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada BUS-834-LV281

Ketika terjadi gangguan pada BUS-834-LV281 seperti terlihat pada gambar 4.29, CB yang merasakan gangguan adalah 834.LV281-CB1 yang merupakan pengaman area zona 1.



Gambar 4.26 Gangguan pada BUS-834-LV281

834.LV281-CB1 merupakan pengaman terakhir yang akan mengaktifkan waktu ZSI apabila tidak mendapatkan *blocking signal* dari pengaman zona 2 yaitu 834.LV281-CB2. Karena gangguan terjadi di luar daerah pengamanan 834.LV281-CB2 maka CB tersebut tidak dapat merasakan adanya gangguan yang mengakibatkan tidak adanya *blocking signal* yang dikirimkan pada 834.LV281-CB1. Maka 834.LV281-CB1 akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* (0,3s) sesuai dengan waktu *clearing time* sebesar 0,08s. Plot kurva TCC pada gangguan BUS-834-LV281 dapat dilihat pada gambar 4.27, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa 834.LV281-CB1 *trip* dengan waktu ZSI, terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,12s dari kurva awal sebelum ZSI.



Gambar 4.27 Plot kurva TCC pada Gangguan BUS-834-LV281

4.9.3. Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 3 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Pada tabel 4.12 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI di tipikal 1.

Tabel 4.12 Simulasi Arc Flash Metode ZSI Tipikal 3

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
BUS-834-MC281	13,541	6,773	1,0862	1
BUS-834-LV281	21,883	37,442	2,5538	3

Berikut adalah perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002.

a. BUS-834-MC281

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,153 + 0,662 \times \lg 30,79 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 30,79) - 0,00304 \times 32 (\lg 30,79)$$

$$\lg I_a = 1,1316$$

$$I_a = 13,541 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 13,541 + 0,0011 \times 32}$$

$$E_n = 5,0525$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,0525 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 28,223 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 6,773 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,0525 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1086,246 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,0862 \text{ m}$$

b. BUS-834-LV281

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 56,6 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 32 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 56,6) - 0,00304 \times 32 (\lg 56,6)$$

$$\lg I_a = 1,34009$$

$$I_a = 21,883 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{\frac{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}{G}}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 21,883 + 0,0011 \times 32}$$

$$E_n = 8,4889$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 8,4889 \left(\frac{0,329}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 156,0096 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 37,442 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 8,4889 \left(\frac{0,329}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 2553,859 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,5538 \text{ m}$$

4.10. Perbedaan Nilai Insiden Energi *Arc Flash* Setelah *Reseting* Dan Sesudah Implementasi Metode ZSI

Nilai insiden energi dapat diturunkan dengan menggunakan metode ZSI. Pengurangan inseiten energi *arc flash* sebesar

1. BUS-834-MC271 sebesar 36,55% dari inseiten energi *arc flash* 12,16 cal/cm² menjadi 7,716 cal/cm²
2. BUS-834.LV271 sebesar 31,64% dari inseiten energi *arc flash* 40,35 cal/cm² menjadi 27,584 cal/cm²
3. BUS-834-MC275 sebesar 61,04% dari inseiten energi *arc flash* 19,08 cal/cm² menjadi 7,713 cal/cm²

4. BUS-834.LV272 sebesar 29,84% dari insemi energi *arc flash* 39,3 cal/cm² menjadi 27,57 cal/cm²
5. BUS-834-MC281 sebesar 42,65% dari insemi energi *arc flash* 11,81 cal/cm² menjadi 6,773 cal/cm²
6. BUS-834.LV281 sebesar 4,73% dari insemi energi *arc flash* 39,3 cal/cm² menjadi 37,442 cal/cm²

Penurunan nilai insemi energi *arc flash* rata-rata diatas 65%, hal ini membuktikan bahwa metode ZSI dapat digunakan untuk mengurangi insemi energi *arc flash*. Detil dari perbandingan kondisi *reseting* dan implementasi ZSI terdapat pada tabel 4.13 sampai dengan tabel 4.15.

Tabel 4.13 *Existing, Reseting Dan Implementasi ZSI Tipikal 1*

Tipikal 1		<i>Existing</i>	<i>Reseting</i>	ZSI
BUS-834-MC271	Archiving Current (Ia) kA	17,082	20,1	15,275
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	150,5	12,16	7,716
	Protection Boundary (m)	5,120	1,455	1,159
	Kategori PPE	> 4	2	1
BUS-834.LV271	Archiving Current (Ia) kA	24,479	28,799	22,697
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	243,95	40,35	27,584
	Protection Boundary (m)	6,522	2,651	2,192
	Kategori PPE	> 4	> 4	3

Tabel 4.14 *Existing, Reseting, Dan Implementasi ZSI Tipikal 2*

Tipikal 2		<i>Existing</i>	<i>Reseting</i>	ZSI
BUS-834-MC275	Archiving Current (Ia) kA	19,458	19,458	15,27
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11

Tabel 4.14 *Existing, Reseting, Dan Implementasi ZSI* Tipikal 2 (Lanjutan)

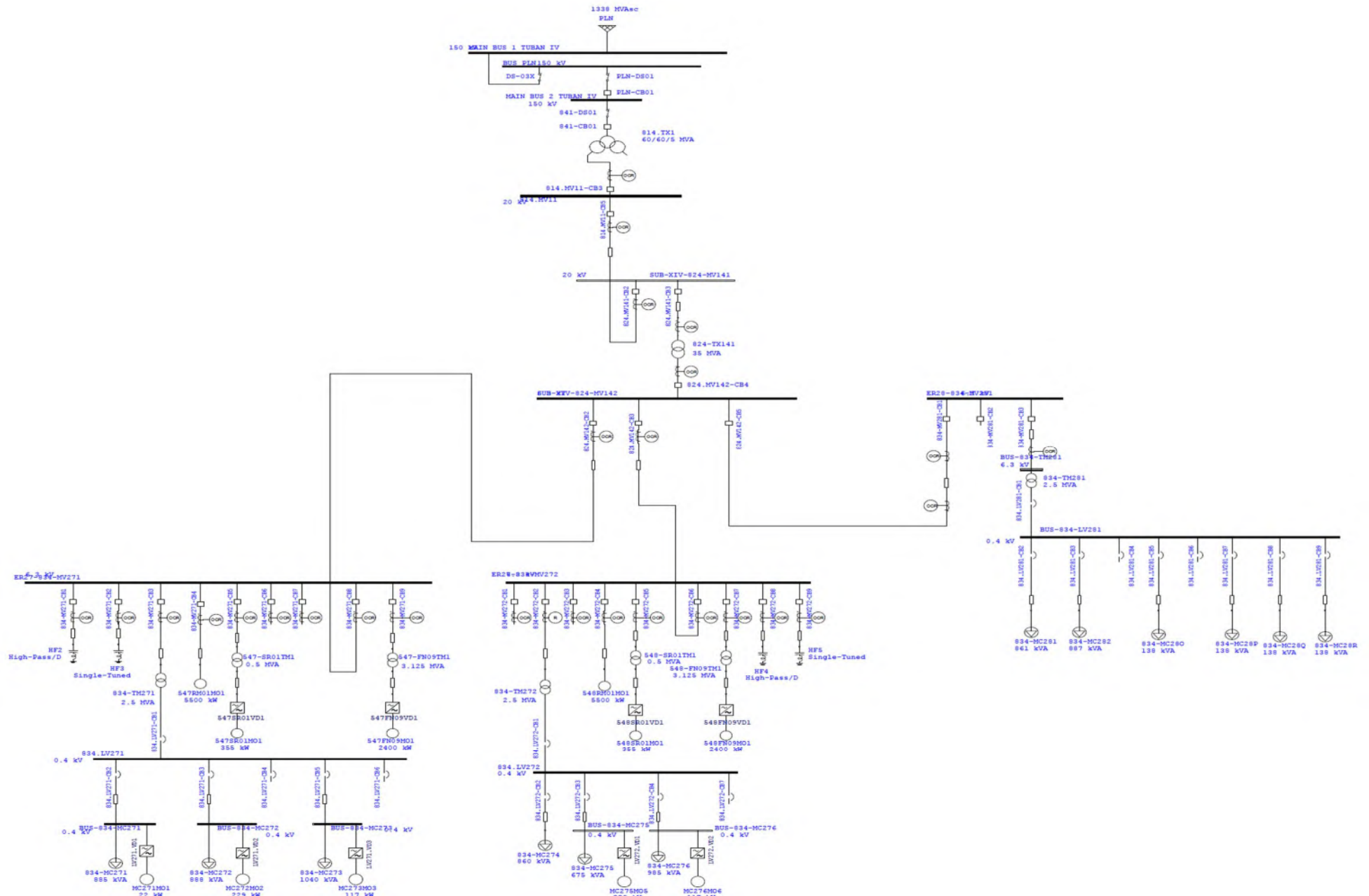
Tipikal 2		Existing	Reseting	ZSI
BUS-834-MC275	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	19,08	19,08	7,713
	Protection Boundary (m)	1,828	1,823	1,159
	Kategori PPE	2	2	1
BUS-834.LV2 72	Arching Current (Ia) kA	23,885	28,1	22,686
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	335,22	39,3	27,57
	Protection Boundary (m)	7,65	2,618	2,1914
	Kategori PPE	> 4	3	3

Tabel 4.15 *Existing, Reseting, Dan Implementasi ZSI* Tipikal 3

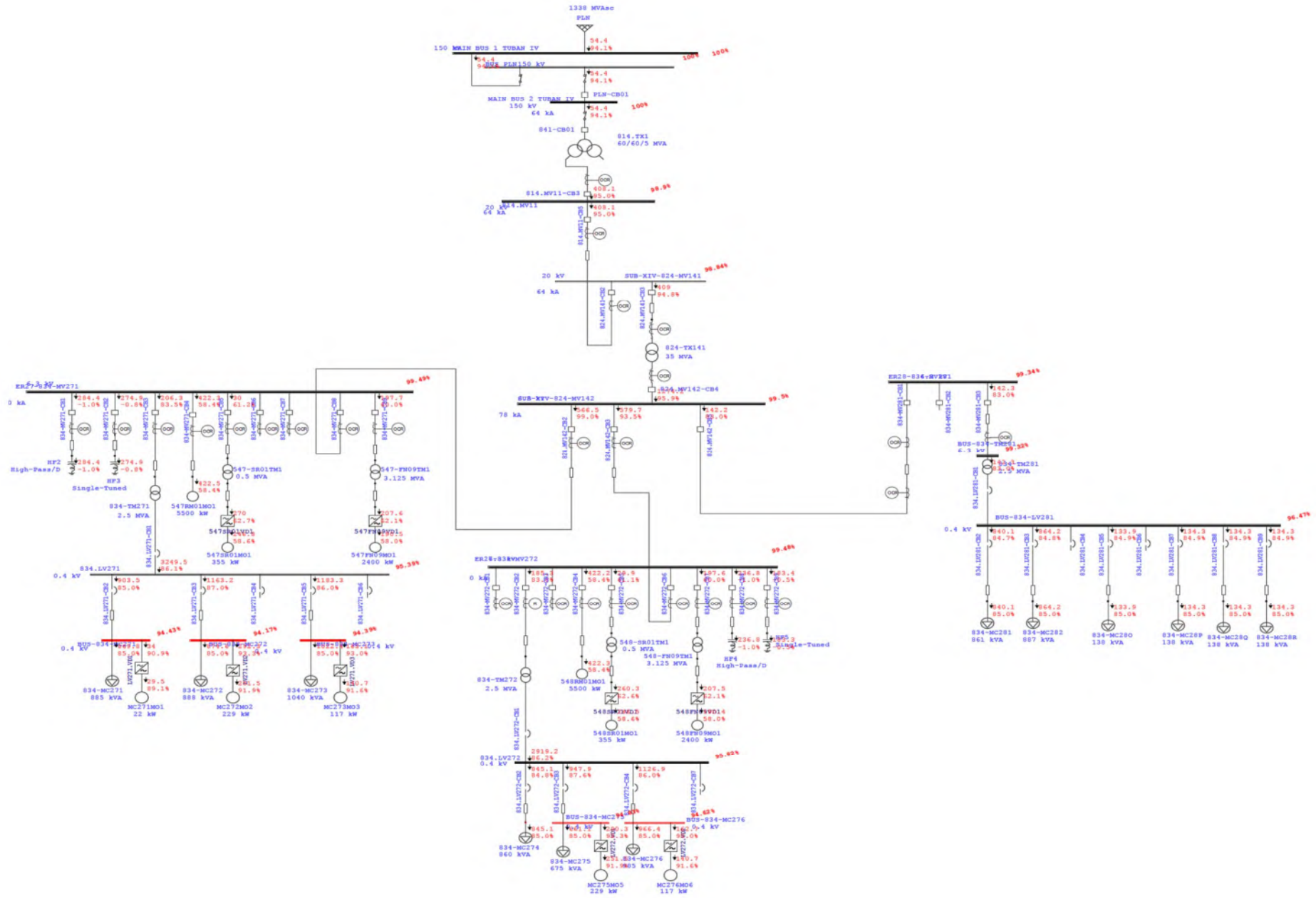
Tipikal 2		Existing	Reseting	ZSI
BUS-834-MC281	Arching Current (Ia) kA	20,176	20,176	13,541
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	19,2	11,81	6,773
	Protection Boundary (m)	1,828	1,434	1,0862
	Kategori PPE	2	2	1
BUS-834.LV2 81	Arching Current (Ia) kA	23,142	28,1	21,883
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	211,36	39,3	37,442
	Protection Boundary (m)	6,065	2,618	2,5538
	Kategori PPE	> 4	3	3

Halaman ini sengaja dikosongkan

Lampiran 1 : Gambar 3.2 Single Line Diagram PT.Semen Gresik yang telah disederhanakan



Lampiran 2 : Gambar 3.3 SLD (Single Line Diagram) PT. Semen Gresik Tuban IV Finish Mill studi Load Flow



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisa pada tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu;

1. Pada kondisi *existing* besaran nilai insiden energi *arc flash* relatif kecil, hal ini karena koordinasi proteksi yang ada masih kurang tepat. Sehingga ketika ada gangguan maka beban yang lain akan terkena dampaknya.
2. Setelah dilakukan *reseting* maka didapatkan nilai insiden energi *arc flash* yang tergolong tinggi. Sehingga diperlukan skema untuk mereduksinya.
3. *Zone Selective Interlocking* merupakan metode yang efektif dan efisien untuk mengurangi nilai insiden energi *arc flash* yang murah dibandingkan penggunaan relay differensial.
4. *Zone Selective Interlocking* mampu menjaga kontinuitas pelayanan, karena ZSI mempunyai selektifitas yang baik.
5. Nilai insiden energi *arc flash* dapat turun karena pada metode ZSI rentang waktu *fault clearing time* (FCT) yang semakin kecil yaitu berkisar 0,1s.
6. *Zone Selective Interlocking* mampu menurunkan nilai energi *arc flash* lebih dari 65%.

5.2 Saran

Berdasar pada pembahasan dan kesimpulan, maka ada beberapa hal yang perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut yaitu;

1. Setelah dilakukan analisa, maka apabila perusahaan melakukan perbaikan sistem kelistrikannya diharapkan perusahaan menerapkan standar NFPA 70E 2015. Karena pada standard baru katagori 0 sudah dihilangkan.
2. Perusahaan dapat mengimplementasikan metode ZSI terhadap bus atau beban-beban yang sangat dibutuhkan kontinuitas pelayanannya merujuk pada efisiensi biaya.

3. Apabila akan menerapkan ZSI, diharapkan untuk mempertimbangkan jarak antar CB. Karena ZSI sangat tergantung dari lokasi gangguan dan komunikasi antar CB (*blocking signal*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SPLN 52-3 : 1983, "*Pola Pengaman Sistem Bagian Tiga, Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV*", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, Pasal 4, 1983
- [2] NFPA 70E. 2015. "*Standard for Electrical Safty in the Workplace*", Battery Park Quincy. An International Codes and Standards Organization
- [3] IEEE Std. 1584-2002., "*IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculation*", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 2002
- [4] Donna Lee Hodgson and David Shipp. *Arc-Flash Incident Energy Reduction Using Zone Selective Interlocking*, IEEE transactions on Industry Applications, Vol. 46, No. 3, May/June 2010
- [5] Christopher G. Walker. *Arc-Flash Energy reduction techniques: Zone-Selective Interlocking and Energy-Reducing Maintenance Switching*, IEEE transactions on Industry, Vol. 49, No. 2, March/April 2013
- [6] Marcelo E. Valdes. *Advances in Protective Device Interlocking for Improved Protection and Selectivity*, IEEE transactions on Industry applications, Vol. 50, No. 3, May/June 2014
- [7] Square D Preferred Methods for Arc-Flash Incident Energy Reduction, "Data Bulletin", Scheider Electric, 2008

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Nama : Syarif Hidayat
Tempat Lahir : Soroako
Tanggal Lahir : 8 Maret 1991
Agama : Islam
Alamat Rumah : Jln. Wiyung Indah
Utara XX-10,
Surabaya
Telp/HP : 089677903618
E-mail : syarifhida08@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- 1997 – 2003 : SD Jajartunggal III 456 Surabaya
- 2003 – 2006 : SMP Negeri 40 Surabaya
- 2006 – 2009 : SMA Negeri 9 Surabaya
- 2009 – 2012 : Bidang Studi Komputer Kontrol, Program D3 Teknik Elektro, ITS

PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PT.Semen Gresik (Persero), Tbk di Tuban (1 – 25 Agustus 2011)

PENGALAMAN ORGANISASI

- Sekretaris Umum Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Elektro 2010 – 2011
- Bendahara Umum Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Elektro 2011 – 2012
- Kadiv Kekeluargaan Bakor FTI – ITS 2011 - 2012

Halaman ini sengaja dikosongkan